book
LEE SMOLIN
DE LA CRIZA FIZICII LA VIITORUL UNIVERSULUI
O carte provocatoare, originală și tulburătoare.
—THE NEW YORK REVIEW OF BOOKS
TIMPUL

RENĂSCUT

Lee Smolin (n. 1955) este una dintre figurile proeminente ale fizicii teoretice şi cosmologiei. împreună cu Carlo Rovelli, a lucrat la o promiţătoare tentativă de a unifica mecanica cuantică şi relativitatea generală, teorie numită gravitaţia cuantică cu bucle. A lansat ipoteza selecţiei naturale cosmologice, susţinând că un proces analog selecţiei naturale din biologie are loc şi la scara universului. A avut de asemenea contribuţii

>

în interpretarea mecanicii cuantice, fizica particulelor elementare, biologia teoretică şi filozofia fizicii. Este cofondator al Institutului Perimeter şi autorul unor cărţi în care prezintă publicului larg ideile sale ştiinţifice: *The Life of the Cosmos* (1997), *Three Roads to Quantum Gravity* (2001), *The*

Trouble with Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next (2006), *Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe* (2013), *Einstein's Unfinished Revolution: The Search for What Lies Beyond the Quantum* (2019).

LEE SMOLIN

FIM PUL RENĂSCUT

DE LA CRIZA FIZICII LA VIITORUL UNIVERSULUI

Traducere din engleză de
Walter Fetescu

Pentru părinţii mei,
Pauline şi Michael
Cu multe mulţumiri
Iui
J
Roberto Mangabeira
Unger
pentru o călătorie
împărtăşită

Toate lucrurile provin unele dintr-altele, şi dispar unele într-altele potrivit necesităţii [...], în conformitate cu ordinea timpului.
—ANAXIMANDRU,
DESPRE NATURĂ

Cuprins

Prefaţă
Introducere
PARTEA I. Greutatea: Eliminarea timpului
1. Căderea
2. Dispariţia timpului
3. Un j oc cu mingea
4. A face fizică într-o cutie
5. Eliminarea noului şi a surprizei
6. Relativitate şi atemporalitate
7. Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului
PARTEA A II-A. Lumina: timpul renăscut
Interludiu
8. Eroarea cosmologică
9. Provocarea cosmologică
10. Principii pentru o cosmologie nouă
11. Evoluţia legilor
12. Mecanica cuantică şi eliberarea atomului
13. Bătălia dintre relativitate şi cuante
14. Timpul renăscut din relativitate

15. Emergenţa spaţiului
16. Viaţa şi moartea universului

17. Timpul renăscut din căldură şi lumină
18. Spaţiu infinit, sau timp infinit?
19. Viitorul timpului Epilog. Nemulţumirea lui Einstein Note
Bibliografie
Mulţumiri

Prefaţă

Ce este timpul?

întrebarea aceasta de o simplitate înşelătoare este cea mai importantă problemă cu care se confruntă ştiinţa atunci când examinăm mai în profunzime aspectele fundamentale ale universului. Toate misterele cu care se confruntă fizicienii şi cosmologii – de la big bang la viitorul universului, de la enigmele fizicii cuantice la unificarea forţelor şi particulelor – se reduc în ultimă instanţă la natura timpului.[1]

Progresul ştiinţei a fost marcat de înlăturarea iluziilor. Materia pare continuă, dar se dovedeşte a fi alcătuită din atomi. Atomii par indivizibili, dar se dovedesc a fi construiţi din protoni, neutroni şi electroni, dintre care primii doi sunt alcătuiţi din particule şi mai simple numite cuarci. Soarele pare că se roteşte în jurul Pământului, dar de fapt e invers – iar la o analiză atentă

se constată că orice lucru se mişcă în raport cu oricare altul.

Timpul este aspectul cel mai universal al experienţei noastre de zi cu zi. Tot ce gândim, simţim sau facem ne reaminteşte de existenţa lui. Percepem lumea ca pe o curgere de momente ce alcătuiesc viaţa noastră. Dar deopotrivă fizicienii şi filozofii ne spun de mult (şi mulţi oameni cred) că timpul este suprema iluzie.

Când îi întreb pe prietenii mei care nu sunt oameni de ştiinţă ce cred ei că este timpul, deseori îmi răspund că trecerea lui este înşelătoare şi că tot ce este într-adevăr real – adevărul, dreptatea, divinul, legile ştiinţifice – se situează în afara sa. Ideea că timpul este o iluzie e o platitudine filozofică şi religioasă. Vreme de milenii, oamenii s-au împăcat cu greutăţile vieţii şi cu faptul că sunt muritori, crezând în posibilitatea unei evadări finale către o lume atemporală mai reală.

Unii dintre gânditorii cei mai iluştri afirmă irealitatea timpului.

Atât Platon, cel mai mare filozof al lumii antice, cât şi Einstein, cel mai mare fizician al lumii moderne, au susţinut o perspectivă asupra naturii în care realul e atemporal. Ei au văzut în experienţa timpului un accident al condiţiei noastre de fiinţe umane – un

>) accident care ne ascunde adevărul. Amândoi au crezut că iluzia timpului trebuie depăşită pentru a percepe ce este real şi adevărat.

Cândva şi eu am crezut în irealitatea esenţială a timpului. într-adevăr, m-am apucat de fizică deoarece în adolescenţă năzuiam să schimb lumea oamenilor, supusă timpului, care mi se părea urâtă şi neprimitoare, cu o lume pură a adevărului etern. Mai târziu, am descoperit că e destul de plăcut să fii om, iar nevoia evadării în transcendent s-a atenuat.

Mai concret, nu mai cred că timpul este ireal. De fapt, am adoptat perspectiva opusă: nu doar că timpul este real, dar nimic din ce ştim sau percepem nu se apropie

mai mult de esenţa naturii decât realitatea timpului.

Motivele mele pentru această *volte-face-* se află în ştiinţă – şi, în particular, în progresele moderne din fizică şi cosmologie. Am ajuns să cred că timpul este cheia pentru semnificaţia teoriei cuantice şi unificarea ei finală cu spaţiul, timpul, gravitaţia şi cosmologia. Cel mai important, cred că pentru a înţelege imaginea universului pe care ne-o aduc observaţiile cosmologice, trebuie să acceptăm realitatea timpului într- un mod nou. Este ceea ce înţeleg eu prin renaşterea timpului.

O mare parte din cartea aceasta prezintă argumente ştiinţifice pentru a crede în realitatea timpului. Dacă sunteţi printre cei mulţi care cred că timpul e o iluzie, îmi propun să vă schimb părerea. Dacă deja credeţi că timpul este real, sper să vă ofer motive mai bune pentru credinţa voastră.

Aceasta este o carte pentru toţi, fiindcă nu există nimeni a cărui perspectivă asupra lumii să nu fie

modelată de felul cum înţelege timpul. Chiar dacă nu ai reflectat niciodată asupra semnificaţiei sale, gândirea ta – însuşi limbajul cu care îţi exprimi gândurile – este colorată de vechi idei metafizice despre timp.

Când adoptăm viziunea revoluţionară că timpul este real, felul în care concepem toate celelalte lucruri se va schimba. Vom tinde să vedem viitorul într-un mod nou, care evidenţiază cu claritate atât ocaziile

favorabile, cât şi pericolele cu care se confruntă specia umană.

O mică parte din povestea acestei cărţi este călătoria personală care m-a condus la redescoperirea timpului. Motivaţia mea iniţială poate fi cel mai bine descrisă nu în limbajul ştiinţei, ci al paternităţii, prin conversaţiile pe care le-am avut cu tânărul meu fiu, mai ales atunci când îl duceam seara la culcare. „Tăticule”, m-a întrebat el odată în timp ce-i citeam, „aveai numele meu când erai de vârsta

mea?” Era un copil care începea să înţeleagă că a existat un timp înaintea lui şi încerca să asocieze scurta poveste a vieţii sale de până atunci cu o epică mult mai lungă.

Orice călătorie te învaţă o lecţie, iar a mea a fost să-mi dau seama ce idee radicală e conţinută în simpla afirmaţie că timpul este reaL Mi-am început viaţa în ştiinţă căutând ecuaţia care transcende timpul, dar acum cred că secretul cel mai profund al universului este că esenţa sa constă în felul cum evoluează în timp clipă de clipă.

*

Există un paradox inerent în modul cum concepem timpul. Ne percepem trăind în timp, şi totuşi deseori ne imaginăm că cele mai bune aspecte ale lumii şi noi înşine îl transcendem. Ceea ce face ca un lucru să fie realmente adevărat, credem noi, nu este că el e adevărat acum, ci că întotdeauna a fost şi întotdeauna va fi adevărat. Ceea ce face ca un principiu moral să fie

absolut este că el e valabil oricând şi în orice împrejurare. Se pare că avem ideea adânc înrădăcinată că dacă ceva are valoare, atunci acel ceva există în afara timpului. Tânjim după „iubirea eternă”. Vorbim despre „adevăr” şi „dreptate” ca şi cum ar fi atemporale. Tot ce admirăm şi venerăm cel mai mult – Dumnezeu, adevărurile matematicii, legile naturii – este înzestrat cu o existentă care

transcende timpul. Acţionăm în timp, dar ne judecăm acţiunile după standarde atemporale.

Ca rezultat al acestui paradox, trăim într-o stare de alienare faţă de lucrurile pe care le preţuim cel mai mult. Alienarea aceasta ne afectează toate aspiraţiile. În ştiinţă, experimentele şi analizele lor sunt supuse timpului, la fel ca toate observaţiile noastre asupra naturii, şi totuşi ne imaginăm că descoperim dovada unor legi ale naturii atemporale. Paradoxul afectează şi acţiunile noastre ca indivizi, membri de familie şi

cetăţeni, fiindcă modul cum înţelegem timpul determină felul în care gândim despre viitor.

în cartea aceasta sper să rezolv într-un mod nou paradoxul de a trăi în timp şi a crede în atemporal. Voi propune ideea că timpul şi trecerea lui sunt fundamentale şi reale, iar speranţele şi credinţele despre adevăruri eterne şi tărâmuri eterne sunt mitologie.

Acceptarea timpului înseamnă a crede că realitatea constă doar în ceea ce este real în fiecare moment. Aceasta e o idee radicală, întrucât neagă orice tip de existenţă sau adevăr etern – fie în domeniul ştiinţei, al moralei, al matematicii sau al guvernării. Toate acestea trebuie reconceptualizate, pentru a încadra adevărurile lor în timp.

Acceptarea timpului înseamnă de asemenea că presupunerile noastre esenţiale privind modul cum funcţionează universul la nivel fundamental sunt incomplete. Atunci când, în paginile care urmează, afirm că timpul este real, ceea ce spun este că:

- Tot ce este real în universul nostru este real la un moment de timp, care este unul dintr-o succesiune de momente.

- Trecutul a fost real, dar nu mai este real. Putem totuşi să interpretăm şi să analizăm trecutul, deoarece găsim în prezent dovezi ale unor procese din trecut.

- Viitorul nu există încă, şi prin urmare e deschis. Putem face în mod rezonabil unele predicţii, dar nu putem prezice complet viitorul. Intr-adevăr, viitorul poate să producă fenomene autentic noi, în sensul că nici o cunoaştere a trecutului nu le-ar putea anticipa.

- Nimic nu transcende timpul, nici măcar legile naturii. Legile nu sunt atemporale. La fel ca orice altceva, ele sunt trăsături ale prezentului şi pot să evolueze în timp.

Pe parcursul acestei cărţi, vom vedea că aceste ipoteze indică o direcţie nouă pentru fizica fundamentală – despre care eu susţin că e singura cale de ieşire din actualele dificultăţi ale fizicii

teoretice şi cosmologiei. Ele au de asemenea implicaţii pentru felul cum înţelegem propriile noastre vieţi şi cum abordăm provocările cu care se confruntă omenirea.

Pentru a explica de ce realitatea timpului este atât de bogată în consecinţe, atât pentru ştiinţă, cât şi pentru chestiuni din afara sa, îmi place să compar gândirea în timp cu gândirea în afara timpului. Ideea că adevărul este etern şi cumva exterior universului e atât de larg răspândită, încât filozoful brazilian Roberto Mangabeira Unger o numeşte „filozofia perenă”. Ea a fost esenţa gândirii lui Platon, exemplificată în parabola din dialogul *Menon* despre băiatul sclav şi geometria pătratului, în care Socrate arată că orice descoperire este doar reamintire.

Gândim în afara timpului atunci când ne imaginăm că răspunsul la orice întrebare asupra căreia reflectăm există undeva într-un domeniu etern al adevărului atemporal. Fie că problema este cum să fim părinţi, soţi sau cetăţeni

mai buni, sau care ar fi modul optim de organizare a societăţii, credem că undeva există ceva invariabil adevărat pe care noi trebuie să-l descoperim.

Oamenii de ştiinţă gândesc în timp atunci când cred că sarcina lor este de a inventa idei noi care să descrie fenomenele nou descoperite, şi structuri matematice noi pentru a le exprima. Dacă gândim în afara timpului, credem că într-un fel sau altul ideile acestea au existat şi înainte ca noi să le fi inventat. Dacă gândim în timp, nu vedem nici un motiv să presupunem asta.

Contrastul dintre a gândi în timp şi în afara timpului este vizibil în multe domenii ale gândirii şi acţiunii umane. Gândim în afara timpului atunci când, confruntaţi cu o problemă tehnologică sau socială, presupunem că abordările posibile sunt deja determinate, ca un set de categorii absolute, pre-existente. Oricine crede că teoria corectă a economiei sau a politicii a fost scrisă în secolul penultim gândeşte

în afara timpului. Dimpotrivă, dacă considerăm că scopul politicii este să inventeze soluţii noi la problemele noi care apar pe măsură ce societatea evoluează, gândim în timp. Tot în timp gândim şi atunci când înţelegem că progresul în tehnologie, societate şi ştiinţă constă în a inventa idei, strategii şi forme de organizare socială cu adevărat noi – şi avem încredere în capacitatea noastră de a face lucrul acesta.

Când acceptăm fără să crâcnim constrângerile, obiceiurile şi birocraţiile diverselor noastre comunităţi şi organizaţii ca şi cum existenţa lor ar avea o motivaţie absolută, suntem captivi în afara timpului. Reintrăm în timp atunci când ne dăm seama că orice trăsătură a unei organizaţii umane este rezultatul unei istorii, aşa încât totul în privinţa ei este negociabil şi supus ameliorării prin inventarea unor noi moduri de acţiune.

Dacă credem că sarcina fizicii este descoperirea unei ecuaţii matematice atemporale care să

capteze toate aspectele universului, atunci credem că adevărul despre univers se află în afara lui. Aceasta e o obişnuinţă de gândire atât de familiară, încât nu-i vedem absurditatea: dacă universul este tot ceea ce există, atunci cum poate exista ceva în afara lui prin care să fie descris? Dar dacă considerăm realitatea timpului ca evidentă, atunci nici o ecuaţie matematică nu poate capta perfect toate aspectele lumii, fiindcă o proprietate a lumii reale pe care nici o ecuaţie matematică nu o împărtăşeşte este că întotdeauna este un anumit moment.

Biologia evoluţionistă darwinistă este prototipul gândirii în timp, fiindcă în centrul ei se află conştientizarea faptului că procesele naturale care evoluează în timp pot duce la crearea unor structuri cu adevărat noi. Pot apărea chiar şi legi noi, atunci când iau fiinţă structurile cărora li se aplică. Principiile selecţiei sexuale, de exemplu, nu puteau exista înainte de apariţia sexelor.

Dinamica evoluţionistă nu are nevoie de spaţii abstracte vaste, ca de pildă toate animalele viabile, secvenţele ADN, seturile de proteine sau legile biologice posibile. E de preferat, aşa cum propune biologul Stuart A. Kauffman, să ne gândim la dinamica evoluţionistă ca la explorarea în timp de către biosferă a ceea ce se poate întâmpla în continuare: „posibilul adiacent”. Acelaşi lucru este valabil pentru evoluţia tehnologiilor, a economiilor şi a societăţilor.

Gândirea în timp nu e relativism, ci o formă de *relationism* – o filozofie care afirmă că descrierea cea mai adevărată a ceva constă în specificarea relaţiilor sale cu celelalte părţi ale sistemului din care face parte. Adevărul poate fi deopotrivă supus timpului şi obiectiv atunci când se referă la obiecte care există odată ce au fost inventate de evoluţie sau de gândirea omenească.

La nivel personal, a gândi în timp înseamnă a accepta incertitudinea vieţii ca preţ necesar pentru a fi viu. A te răzvrăti împotriva caracterului precar al vieţii, a respinge incertitudinea, a adopta o toleranţă zero faţă de risc, a-ţi imagina că viaţa poate fi organizată aşa încât pericolul să fie complet eliminat înseamnă a gândi în afara timpului. A fi om înseamnă a trăi suspendat între pericol şi oportunitate.

Ne dăm toată silinţa să prosperăm într-o lume nesigură, să avem grijă de ceea ce şi de cei pe care îi iubim, iar între timp din când în când ne simţim bine. Facem planuri, dar niciodată nu putem anticipa în întregime pericolele sau oportunităţile care ne aşteaptă. Budiştii spun că locuim într-o casă care arde, dar noi încă nu am observat. Pericolul poate să apară oricând, iar în societăţile de vânători-culegători era omniprezent, dar în viaţa modernă am organizat lucrurile aşa încât, prin comparaţie, e rar. Dificultatea în viaţă este să alegi cu

înţelepciune, din numărul enorm de pericole posibile, pe cele pentru care merită să-ţi faci griji; şi de asemenea să alegi, dintre toate oportunităţile pe care le aduce fiecare moment, ce să faci în continuare. Alegem unde să ne investim energia şi atenţia – întotdeauna în condiţiile unei cunoaşteri incomplete a consecinţelor.

Am putea proceda mai bine? Am putea depăşi capriciile vieţii şi atinge o stare în care să ştim, dacă nu totul, suficient pentru a vedea toate consecinţele opţiunilor noastre – atât pericolele, cât şi oportunităţile? Altfel spus, am putea trăi o viaţă cu adevărat raţională, fără surprize? Dacă timpul ar fi o iluzie, ne-am putea imagina că acest lucru e posibil, fiindcă într-o lume în care timpul e neesential nu ar exista nici o deosebire fundamentală între cunoaşterea prezentului şi cunoaşterea viitorului. Nişte calcule în plus ar fi de ajuns. Un număr, o formulă ar putea fi calculate şi decodate

pentru a ne spune tot ce avem nevoie să ştim.

Dar dacă timpul este real, viitorul nu poate fi determinat din cunoaşterea prezentului. Nu există nici o scăpare din situaţia noastră, nici o eliberare de surprizele datorate faptului că ignorăm majoritatea consecinţelor acţiunilor noastre. Surpriza e inerentă în structura lumii. Natura ne poate rezerva surprize pentru care nici o cunoaştere, oricât de vastă, nu ne-a pregătit. Noutatea este reală. Putem crea cu ajutorul imaginaţiei rezultate imposibil de dedus din cunoaşterea prezentului. De aceea contează pentru fiecare dintre noi dacă timpul este real sau nu: răspunsul poate schimba felul cum percepem situaţia noastră de căutători ai fericirii şi semnificaţiei într-un univers în mare măsură necunoscut. Voi reveni asupra acestor teme în epilog, unde sugerez că realitatea timpului ne poate ajuta să reflectăm asupra unor provocări precum schimbările climatice şi criza economică.

înainte să abordăm principala temă a cărţii, iată câteva recomandări.

Am încercat să fac argumentele din această carte accesibile cititorului obişnuit, fără o pregătire în fizică sau matematică. Nu sunt ecuaţii şi tot ce trebuie ştiut pentru a-mi urmări argumentele este explicat. Chestiunile esenţiale sunt ilustrate cu cele mai simple exemple posibile. Când abordăm subiecte mai sofisticate, cititorii sunt sfătuiţi, dacă nu înţeleg, să facă ceea ce învaţă oamenii de ştiinţă să facă, adică să parcurgă în grabă sau să sară înainte până într-un punct unde textul devine mai clar pentru ei. Cititorii care doresc mai multe informaţii pot consulta cele câteva anexe disponibile on-line la www.timereborn.com. Cititorul poate găsi de asemenea util să consulte notele, care conţin citate, observaţii utile pentru profani sau pentru experţi şi discuţii suplimentare în măsură să-i intereseze pe unii cititori.

Propria mea călătorie de

întoarcere la timp a durat mai bine de douăzeci de ani, de la recunoaşterea faptului că legile trebuie explicate prin evoluţia lor, trecând prin strădaniile mele cu relativitatea, fundamentele fizicii cuantice şi gravitaţia cuantică, care m-au condus în cele din urmă la perspectiva prezentată aici. Colaborările şi conversaţiile cu mai mulţi prieteni şi colegi au fost esenţiale pentru progresul meu pe acest drum; ele sunt detaliate în Mulţumiri şi Note, la fel ca utilizarea rezultatelor şi ideilor altora. Nici una dintre aceste interacţiuni nu a fost mai importantă decât o colaborare rodnică şi stimulativă cu Roberto Mangabeira Unger, pe durata căreia am formulat principalul argument şi multe dintre ideile esenţiale care urmează.[1]

Cititorii trebuie să fie conştienţi că există multe puncte de vedere asupra timpului, teoriei cuantice, cosmologiei şi altor asemenea subiecte care nu sunt discutate aici. Există o literatură vastă scrisă de

fizicieni, cosmologi şi filozofi privitoare la chestiunile pe care le abordez. Aceasta nu se pretinde a fi o carte academică. Am ales să le ofer cititorilor aflaţi poate la prima lor întâlnire cu acest domeniu de discuţii o cale de acces prin terenul său complex, subliniind unele dintre argumentele sale centrale.[1] [2] Există (pentru a da un exemplu) rafturi pline cu scrieri care analizează ideile lui Kant despre spaţiu şi timp, pe care nu le menţionez aici. După cum nu prezint nici unele idei ale filozofilor contemporani. Le cer iertare prietenilor mei eruditi pentru aceste omisiuni, şi-l îndrum

1 Pentru alte perspective decât cea a lui Lee Smolin privind natura timpului, vezi Richard Muller, *Acum: Fizica timpului* (Humanitás, Bucureşti, 2019), Carlo Rovelli, *Şi dacă timpul n-ar exista?* (Humanitás, Bucureşti, 2022) şi *Ordinea timpului* (Humanitás, Bucureşti, 2018) (n. red.).

2 Schimbare radicală, întoarcere cu 180 de grade; în limba franceză în original (n. tr.).

pe cititorul interesat către bibliografie, care conţine sugestii pentru lecturi ulterioare despre timp.

Lee Smolin
Toronto, august 2012

Introducere

Probele ştiinţifice că timpul este o iluzie sunt formidabile. De aceea adoptarea ideii că timpul este real are consecinţe revoluţionare.

Principalul argument al fizicienilor împotriva timpului se bazează pe modul cum înţelegem ce este o lege a fizicii. Potrivit concepţiei dominante, tot ce se întâmplă în univers este determinat de o lege care dictează cu precizie cum evoluează viitorul din prezent. Legea este absolută, iar odată specificate condiţiile prezente, nu există nici o libertate sau incertitudine în felul cum va evolua viitorul.

Aşa cum Thomasina, eroina precoce din piesa lui Tom Stoppard-*Arcadia,* îi explică preceptorului ei: „Dacă ai putea opri fiecare atom în poziţia şi direcţia lui, şi dacă mintea ta ar putea înţelege toate acţiunile astfel suspendate, şi dacă ai fi foarte, foarte bun la algebră, atunci ai putea scrie formula pentru întregul viitor; şi deşi nimeni nu este atât de deştept încât să poată face asta, formula trebuie să existe ca şi cum cineva ar putea.” Cândva credeam că sarcina mea ca fizician teoretician era să găsesc acea formulă; acum consider credinţa mea în existenta ei mai curând misticism decât ştiinţă.

Dacă ar fi scris replici pentru un personaj modern, Stoppard ar fi pus-o pe Thomasina să spună că universul este asemenea unui calculator. Legile fizicii sunt programul. Dacă-i furnizezi datele de intrare – poziţiile actuale ale tuturor particulelor elementare din univers calculatorul funcţionează un anumit timp, după care îţi oferă datele de ieşire, care sunt poziţiile

tuturor particulelor elementare la un moment viitor. În viziunea aceasta asupra naturii, nu se întâmplă nimic altceva decât rearanjarea particulelor conform unor legi atemporale; prin urmare, potrivit acestor legi viitorul este deja complet determinat de prezent, la fel cum prezentul a fost determinat de trecut.

Viziunea aceasta diminuează rolul timpului în mai multe moduri.[1] Nu pot exista surprize sau fenomene cu adevărat noi, fiindcă tot ce se întâmplă este rearanjarea atomilor. Proprietăţile atomilor sunt atemporale, la fel şi legile care-i controlează; nici una nu se modifică vreodată. Orice caracteristică a lumii la un moment viitor poate fi calculată din configuraţia sa prezentă. Altfel spus, trecerea timpului poate fi înlocuită printr-un calcul, ceea ce înseamnă că viitorul este o consecinţă logică a prezentului.

Teoriile relativităţii ale lui Einstein aduc argumente încă şi mai puternice că timpul e

neesenţial pentru o descriere fundamentală a lumii, aşa cum voi discuta în capitolul 6. Relativitatea sugerează ferm că întreaga istorie a lumii este o unitate atemporală; prezentul, trecutul şi viitorul nu au nici o semnificaţie separată de subiectivitatea umană. Timpul este doar o altă dimensiune a spaţiului, iar senzaţia pe care ne-o produce scurgerea momentelor este o iluzie în spatele căreia se află o realitate eternă.

Afirmaţiile acestea pot părea înspăimântătoare pentru toţi cei a căror viziune asupra lumii lasă loc liberului-arbitru sau factorului uman. Nu mă voi angaja aici în această dispută; pledoaria mea pentru realitatea timpului se bazează exclusiv pe ştiinţă. Sarcina mea va fi să explic de ce argumentele uzuale în favoarea unui viitor predeterminat sunt greşite din punct de vedere ştiinţific.

în partea I voi prezenta probele ştiinţifice pentru a crede că timpul este o iluzie. în partea a Il-a voi

demola acele argumente şi voi arăta de ce timpul trebuie considerat real dacă vrem ca fizica fundamentală şi cosmologia să depăşească crizele cu care se confruntă în prezent.

Pentru a încadra argumentaţia din partea I, urmăresc evoluţia conceptelor de timp folosite în fizică, de la Aristotel şi Ptolemeu, trecând prin Galilei, Newton şi Einstein, până la cosmologii cuantici contemporani, şi arăt modul cum conceptul de timp a fost diminuat, pas cu pas, odată cu progresul fizicii. Spunând povestea în felul acesta am posibilitatea să prezint treptat materialul de care cititorul profan are nevoie pentru a înţelege argumentaţia. Intr-adevăr, aspecte esenţiale pot fi prezentate cu ajutorul unor exemple obişnuite, mingi care cad şi planete în mişcare orbitală. Partea a Il-a spune o poveste mai aproape de zilele noastre, deoarece argumentul că timpul trebuie reintrodus în miezul ştiinţei a apărut ca rezultat al unor progrese recente.

Argumentaţia mea porneşte de la

o observaţie simplă: succesul teoriilor ştiinţifice de la Newton şi până în prezent se bazează pe utilizarea unui cadru explicativ specific inventat de Newton. Potrivit acestui cadru, natura e alcătuită doar din particule cu proprietăţi atemporale, ale căror mişcări şi interacţiuni sunt determinate de legi atemporale. Proprietăţile particulelor – de exemplu, masele şi sarcinile electrice – nu se schimbă niciodată, şi nici legile care acţionează asupra lor. Cadrul acesta e ideal pentru a descrie părţi mici ale universului, dar el *se destramă dacă încercăm să-l aplicăm întregului univers.*

Toate teoriile importante ale fizicii se referă la părţi ale universului – un aparat de radio, o minge în zbor, o celulă biologică, Pământul, o galaxie. Când descriem o parte a universului, noi înşine şi instrumentele noastre de măsură rămânem în afara sistemului. Omitem rolul nostru în selectarea sau prepararea sistemului pe care îl studiem. Omitem reperele care

servesc la stabilirea poziţiei sistemului. Şi, cel mai important pentru preocuparea noastră legată de natura timpului, omitem ceasurile cu care măsurăm schimbarea în sistem.

încercarea de a extinde fizica la cosmologie aduce provocări noi care necesită o gândire proaspătă. O teorie cosmologică nu poate omite nimic. Pentru a fi completă, ea trebuie să ia în considerare totul în univers, inclusiv pe noi înşine ca observatori. Trebuie să ţină seama de ceasurile şi instrumentele noastre de măsură. Când facem cosmologie, ne confruntăm cu o condiţie nouă: este imposibil să ieşim din sistemul pe care-l studiem atunci când acel sistem este întregul univers.

în plus, o teorie cosmologică trebuie să se descurce fără două aspecte importante de metodologie a ştiinţei. O regulă de bază în ştiinţă este că un experiment trebuie efectuat de multe ori pentru a fi siguri de rezultat. Dar nu putem face asta cu universul în ansamblu –

universul se petrece o singură dată. Nici nu putem prepara sistemul în diverse moduri şi să studiem consecinţele. Acestea sunt handicapuri reale[3], care fac ca demersul ştiinţific la nivelul întregului univers să fie mult mai dificil.

Cu toate acestea, vrem să extindem fizica la o ştiinţă a cosmologiei. Primul imbold e să luăm teoriile care au funcţionat atât de bine când au fost aplicate unor părţi mici[J] ale universului şi să le mărim scara pentru a descrie tot universul. Aşa cum voi arăta în capitolele 8 şi 9, acest lucru nu e posibil. Cadrul newtonian – legi atemporale acţionând asupra unor particule cu proprietăţi atemporale – este inadecvat pentru sarcina de a descrie întregul univers.

într-adevăr, aşa cum voi arăta în detaliu, tocmai acele trăsături care asigură succesul acestui tip de teorii, când sunt aplicate unor părţi mici ale universului, le fac să

eşueze atunci când încercăm să le aplicăm universului în ansamblul lui.

îmi dau seama că afirmaţia aceasta contravine practicii şi speranţelor multor colegi, dar nu cer decât ca cititorul să acorde toată atenţia pledoariei mele din partea a Il-a. Acolo voi demonstra în general, şi voi ilustra printr-un exemplu specific, că, atunci când încercăm să extrapolăm teoriile noastre standard la o teorie cosmologică, suntem răsplătiţi cu dileme, paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Printre acestea este eşecul oricărei teorii standard de a explica alegerile din universul timpuriu — alegerea condiţiilor iniţiale, precum şi a înseşi legilor naturii.

O parte din literatura cosmologică contemporană constă din eforturile unor oameni foarte inteligenţi de a rezolva aceste dileme, paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Ideea că universul nostru este parte a unui multivers vast sau infinit este populară — fapt de înţeles, întrucât ea se bazează pe o

eroare metodologică în care e uşor să cazi. Teoriile noastre actuale pot funcţiona la nivelul universului numai dacă universul nostru e un subsistem al unui sistem mai mare. Aşa încât inventăm un mediu fictiv şi-l umplem cu alte universuri. Aceasta nu poate duce la nici un progres ştiinţific real, fiindcă nu putem confirma sau infirma nici o ipoteză asupra unor universuri deconectate cauzal de al nostru.[2]

Scopul acestei cărţi este să sugereze că există o altă cale. Trebuie s-o luăm de la început şi să pornim în căutarea unui nou tip de teorie care să poată fi aplicată întregului univers – o teorie care evită confuziile şi paradoxurile, răspunde întrebărilor fără răspuns şi generează predicţii fizice autentice pentru observaţiile cosmologice.

Nu am o astfel de teorie, dar ce pot să ofer este un set de principii care să ghideze căutarea ei. Acestea sunt prezentate în capitolul 10. în capitolele care urmează, voi ilustra modul în care principiile pot

să inspire noi ipoteze şi modele de univers care indică drumul către o adevărată teorie cosmologică. Principiul central este că timpul trebuie să fie real, iar legile fizice trebuie să evolueze în acel timp real.

Ideea unor legi care evoluează în timp nu este nouă, şi nici ideea că o ştiinţă cosmologică va avea nevoie de ele.[3] Filozoful american Charles Sanders Peirce scria în 1891:

> A presupune nişte legi ale naturii universale pe care mintea le poate înţelege, dar pentru ale căror forme speciale nu există nici un motiv, ele rămânând inexplicabile şi iraţionale, este o poziţie greu de justificat. Uniformităţile sunt exact genul de fapte care au nevoie de explicaţie [...]. Legea este prin excelentă lucrul care are nevoie de un temei. Singurul mod posibil de a explica legile naturii şi uniformitatea în general e să presupunem că ele sunt rezultatul evoluţiei.[4]

Filozoful contemporan Roberto Mangabeira Unger a proclamat mai recent:

> Poţi urmări înapoi în timp proprietăţile universului prezent până la proprietăţile pe care trebuie să le fi avut la început. Dar nu poţi dovedi că acestea sunt singurele proprietăţi pe care orice univers trebuie să le aibă. [...] Universuri anterioare sau ulterioare ar putea avea legi complet diferite. [...] A enunţa legile naturii nu înseamnă a descrie sau a explica toate istoriile posibile ale tuturor universurilor posibile. Există doar o distincţie relativă între explicaţia legică şi relatarea unei secvenţe istorice unice.[5]

Paul Dirac, considerat împreună cu Einstein şi Niels Bohr printre cei mai importanţi fizicieni ai secolului XX, a lansat următoarea ipoteză: „La începutul timpului probabil că legile Naturii au fost foarte diferite faţă de cele din prezent. De aceea

trebuie să considerăm că legile Naturii se modifică în permanenţă odată cu epoca, în loc să rămână constante pe tot cuprinsul spaţiului-timp."[6] John Archibald Wheeler, unul dintre marii fizicieni americani, a presupus şi el că legile au evoluat. El a propus că big bang-ul a fost unul dintr-o serie de evenimente în care legile fizicii au fost reprocesate. A scris de asemenea: „Nu există nici o lege, cu excepţia legii că nu există nici o lege."[7] Chiar şi Richard Feynman, alt mare fizician american, studentul lui Wheeler, a reflectat odată într-un interviu: „Singurul domeniu care nu a admis nici o problemă de evoluţie este fizica. Iată legile, spunem noi [...], dar cum au ajuns ele astfel, în timp? [...] Aşadar, s-ar putea dovedi că [legile] nu sunt aceleaşi tot timpul şi că există o problemă istorică, de evoluţie."[8]

În cartea mea din 1997 *The Life of the Cosmos* am propus un mecanism pentru evoluţia legilor, pe care l-am modelat după evoluţia

biologică.[9] Am presupus că universurile se pot reproduce formând universuri-copil *[baby universes]* în interiorul găurilor negre, şi am postulat că, de fiecare dată când se întâmplă lucrul acesta, legile fizicii suferă o uşoară modificare. în această teorie, legile au jucat rolul genelor în biologie; un univers era considerat expresia unei alegeri a legilor făcute în momentul formării sale, la fel cum un organism este o expresie a genelor sale. La fel ca genele, legile pot suferi mutaţii aleatorii de la o generaţie la alta. Inspirat de rezultate pe atunci recente ale teoriei corzilor, am presupus că încercarea de a găsi o teorie unificată fundamentală va duce nu la o singură Teorie despre Tot *[Theory of Everything],* ci la un spaţiu vast de legi posibile. L-am numit peisajul teoriilor *[landscape of theories],* adoptând limbajul din genetica populaţiilor, ai cărei specialişti lucrează cu peisaje adaptive *[fitness landscapes].* întrucât acesta este subiectul

capitolului 11, aici voi mai spune doar că respectiva teorie, selecţia naturală cosmologică, face o serie de predicţii care, în mod remarcabil, au rămas valabile în pofida mai multor ocazii de a fi infirmate în anii care au trecut de atunci.

în ultimul deceniu, mulţi teoreticieni ai corzilor au adoptat conceptul de peisaj al teoriilor. Drept urmare, întrebarea cum alege universul legile pe care să le urmeze a devenit imperioasă. Aceasta, voi argumenta eu, este una dintre întrebările cărora li se poate răspunde numai într-un nou cadru pentru cosmologie, în care timpul este real, iar legile evoluează.

Legile, aşadar, nu-i sunt impuse universului din afara lui. Nici o entitate exterioară, fie ea divină sau matematică, nu precizează dinainte care trebuie să fie legile naturii. De asemenea, legile naturii nu aşteaptă tăcute, în afara timpului, ca universul să înceapă. Dimpotrivă, ele apar în interiorul universului şi evoluează în timp odată cu

universul pe care-l de-scriu. Este chiar posibil, la fel ca în biologie, să apară noi legi ale fizicii ca regularităţi ale unor noi fenomene ce se ivesc în decursul istoriei universului.

Unii ar putea considera repudierea legilor eterne ca o abandonare a obiectivelor ştiinţei. Dar eu o văd ca pe aruncarea peste bord a excesului de bagaj metafizic care ne
stânjeneşte în căutarea adevărului. În capitolele următoare voi oferi exemple ilustrând modul cum noţiunea de legi care evoluează în timp conduce la o cosmologie mai ştiinţifică – înţelegând prin aceasta o cosmologie care generează mai multe predicţii supuse testării experimentale.

*

Din câte ştiu, primul om de ştiinţă după zorii Revoluţiei Ştiinţifice care s-a gândit într- adevăr serios cum să alcătuiască o teorie a întregului univers a fost Gottfried Wilhelm Leibniz, care printre altele a fost

rivalul lui Newton în faimoasa dispută asupra priorităţii în inventarea analizei matematice. De asemenea, el a anticipat logica modernă, a elaborat un sistem de numeraţie binar şi multe altele. S-a spus despre el că a fost cel mai inteligent om care a trăit vreodată. Leibniz a formulat un principiu pentru elaborarea teoriilor cosmologice numit *principiul raţiunii suficiente,* care afirmă că trebuie să existe un motiv raţional pentru orice opţiune virtuală în construirea universului. Orice întrebare de forma „De ce universul are proprietatea X mai degrabă decât Y?” trebuie să aibă un răspuns. Prin urmare dacă Dumnezeu a creat lumea, El nu a putut avea nici o opţiune în întocmirea planului. Principiul lui Leibniz a avut un efect profund asupra dezvoltării fizicii până în prezent şi, după cum vom vedea, rămâne în continuare o călăuză de încredere în eforturile noastre de a concepe o teorie cosmologică.

Leibniz a avut viziunea unei lumi

în care totul există nu în spaţiu, ci imersat într-o reţea de relaţii. Relaţiile acestea definesc spaţiul, iar nu invers. în prezent, ideea unui univers de entităti interconectate într-o reţea e răspândită în toată fizica, precum şi în biologie şi informatică.

într-o lume relaţională (cum numim o lume în care relaţiile precedă spaţiul), nu există spaţii fără obiecte. Conceptul de spaţiu al lui Newton a fost contrariul, fiindcă el considera că spaţiul e absolut. Aceasta înseamnă că atomii sunt definiţi de poziţia lor în spaţiu, dar spaţiul nu este afectat în nici un fel de mişcarea atomilor. într-o lume relaţională nu există asemenea asimetrii. Lucrurile sunt definite prin relaţiile lor. Entităţile individuale există, şi ele pot fi parţial autonome, dar posibilităţile lor sunt determinate de reţeaua de relaţii. Ele se întâlnesc şi se percep reciproc prin legăturile care le conectează în interiorul reţelei, iar reţelele sunt dinamice şi evoluează

permanent.

Aşa cum voi explica în capitolul 3, din marele principiu al lui Leibniz rezultă că nu poate exista un timp absolut care se scurge orbeşte indiferent ce se întâmplă în lume. Timpul trebuie să fie o consecinţă a schimbării; dacă nimic nu se modifică în lume, nu poate exista timp. Filozofii spun că timpul este relaţional – el este un aspect al relaţiilor, cum ar fi cauzalitatea, care guvernează schimbarea. În mod similar, spaţiul trebuie să fie relaţional; într-adevăr, orice proprietate a unui obiect în natură trebuie să fie o reflexie a relaţiilor dinamice[10]

dintre acesta şi alte lucruri din lume.

Principiile lui Leibniz au contrazis ideile de bază ale fizicii lui Newton, de aceea a fost nevoie de un anumit timp pentru ca oamenii de ştiinţă activi să le aprecieze pe deplin. Einstein a fost cel care a preluat moştenirea lui Leibniz şi i-a folosit principiile ca motivaţie majoră

pentru răsturnarea fizicii lui Newton şi înlocuirea ei cu relativitatea generală, o teorie a spaţiului, timpului şi gravitaţiei care întrupează în mare măsură viziunea relaţională a lui Leibniz asupra spaţiului şi timpului. Principiile lui Leibniz sunt de asemenea realizate, într-un mod diferit, în revoluţia cuantică. Eu numesc revoluţia în fizică din secolul XX revoluţia relaţională.

Problema de a unifica fizica, şi, în particular, de a combina teoria cuantică şi relativitatea generală într-un cadru unic, este în mare parte sarcina de a completa revoluţia relaţională din fizică. Principalul mesaj al cărţii de fată este că aceasta necesită adoptarea ideilor că timpul este real şi legile evoluează.

Revoluţia relaţională este deja în toi în restul ştiinţei. Revoluţia lui Darwin în biologie se situează în frunte, manifestată atât în ideea că specia se defineşte prin relaţia sa cu toate celelalte organisme din mediul său, cât şi în conceptul că

acţiunea unei gene e definită doar în contextul reţelei de gene care-i reglează acţiunea. Aşa cum ne dăm repede seama, biologia se referă la informaţie, şi nu există un concept mai relaţional decât informaţia, dat fiind că se bazează pe o relaţie între expeditor şi destinatar la fiecare capăt al unui canal de comunicare.

în sfera socială, conceptului liberal al unei lumi de indivizi autonomi (imaginat de filozoful John Locke ca un analog al fizicii prietenului său Isaac Newton) i se opune viziunea unei societăţi alcătuite din indivizi interdependenţi, doar parţial autonomi, ale căror vieţi sunt semnificative numai într-un ghem[5] de relaţii. Noul halo informaţional care ne-a învăluit de curând exprimă ideea relaţională prin metafora reţelei. Ca fiinţe sociale, ne vedem pe noi înşine drept noduri într-o reţea ale cărei conexiuni ne definesc, în prezent ideea unui sistem social alcătuit dintr-o reţea de entităţi

interconectate apare în teoriile formulate de oricine, de la filozofi politici feminişti la mentori din management. Câţi utilizatori ai Facebook îşi dau seama că vieţile lor sociale sunt acum organizate de o puternică idee?

Revoluţia relaţională este deja foarte avansată. Dar în acelaşi timp, este evident în criză. Pe unele fronturi, e blocată. Oriunde e în criză, constatăm că trei tipuri de întrebări sunt aprig dezbătute. Ce este un individ? Cum apar noi tipuri de sisteme şi entităţi? Cum trebuie să înţelegem în mod util universul ca întreg?

Cheia acestor enigme este că nici indivizii, nici sistemele, şi nici întregul univers nu pot fi concepute ca lucruri care există pur şi simplu. Toate sunt compuse din procese care au loc în timp. Elementul lipsă, fără de care nu putem răspunde la aceste întrebări, este să le vedem ca procese care evoluează în timp. Voi argumenta că, pentru a reuşi, revoluţia relaţională trebuie să adopte noţiunea de timp şi

momentul prezent ca aspect fundamental al realităţii.

în vechiul mod de a gândi, indivizii erau cele mai mici unităţi ale unui sistem, iar dacă voiai să înţelegi cum funcţionează un sistem, îl descompuneai şi studiai comportamentul părţilor sale. Dar cum să înţelegem proprietăţile celor mai simple entităţi? Ele nu au părţi, aşa încât reducţionismul (cum este numită metoda aceasta) nu ne poate duce mai departe. Punctul de vedere atomic a ajuns aici la capătul drumului, fiind complet blocat. Aceasta e o mare oportunitate pentru programul relaţional în curs de formare, fiindcă el poate – şi de fapt trebuie — să caute explicaţia pentru proprietăţile particulelor elementare în reţeaua relaţiilor lor.

Aceasta se întâmplă deja în teoriile unificate pe care le avem până acum. în Modelul Standard al fizicii particulelor, care este cea mai bună teorie a particulelor elementare de care dispunem în prezent, proprietăţile unui electron

– de pildă, masa lui — sunt determinate în mod dinamic de interacţiunile la care participă. Proprietatea cea mai simplă pe care o poate avea o particulă este masa ei, care determină de câtă forţă e nevoie pentru a-i schimba mişcarea, în Modelul Standard, masele tuturor particulelor apar din interacţiunile lor cu alte particule şi sunt determinate în principal de una – particula Higgs. Nu mai există particule „absolut” elementare; tot ce se comportă ca o particulă este, într-o anumită măsură, o consecinţă emergentă a unei reţele de interacţiuni.

Emergenţa este un termen important într-o lume relaţională. O proprietate a ceva alcătuit din părţi este emergentă dacă ea nu are sens atunci când e atribuită oricăreia dintre părţi. Pietrele sunt tari şi apa curge, dar atomii componenţi nu sunt solizi sau umezi. O proprietate emergentă va fi adesea valabilă doar aproximativ, fiindcă ea decurge dintr-o descriere medie sau de nivel înalt care omite multe

detalii.

Pe măsură ce ştiinţa progresează, aspecte ale naturii considerate cândva fundamentale se dovedesc a fi emergente şi aproximative. Credeam cândva că solidele, lichidele şi gazele sunt stări fundamentale; ştim acum că acestea sunt proprietăţi emergente, care pot fi înţelese ca moduri diferite de aranjare a atomilor care alcătuiesc totul. Majoritatea legilor naturii considerate cândva fundamentale sunt înţelese acum ca emergente şi aproximative. Temperatura nu-i decât energia medie a atomilor în mişcare aleatorie, de aceea legile termodinamicii care se referă la temperatură sunt emergente şi aproximative.

Tind să cred că aproape tot ce considerăm acum că este fundamental va fi în cele din urmă înţeles ca aproximativ şi emergent: gravitaţia şi legile lui Newton şi ale lui Einstein care o guvernează, legile mecanicii cuantice, chiar spaţiul însuşi.

Teoria fizică fundamentală pe

care o căutăm nu se va referi la lucruri care se mişcă în spaţiu. Nu va avea gravitaţia, electricitatea sau magnetismul ca forţe fundamentale. Nu va fi mecanica cuantică. Toate acestea vor emerge ca noţiuni aproximative atunci când universul nostru devine suficient de mare.

Dacă spaţiul este emergent, înseamnă că şi timpul este emergent? Dacă pătrundem destul de adânc în fundamentele naturii, timpul dispare? în ultimul secol, am progresat până în punctul în care mulţi dintre colegii mei consideră că timpul este emergent dintr-o descriere mai profundă a naturii în care el nu apare.

Eu cred – pe cât de ferm poţi crede ceva în ştiinţă – că ei se înşală. Timpul se va dovedi singurul aspect al experienţei noastre de zi cu zi care *este* fundamental. Faptul că întotdeauna există un anumit moment în percepţia noastră, şi că trăim acel moment ca pe unul dintr-un flux de momente nu este o iluzie. Este cel mai bun indiciu privind realitatea fundamentală de care

dispunem.

3. Sir Tom Stoppard (n. 1937), dramaturg britanic de origine cehă. Piesele sale se remarcă prin măiestria verbală şi ingeniozitatea intrigii. *Arcadia* (1993) combină romantismul secolului XIX cu teoria modernă a haosului (n. tr.).

PARTEA I
GREUTATEA: ELIMINAREA TIMPULUI

1.Căderea

înainte de a începe această călătorie, sau oricare altă călătorie de descoperiri, trebuie să urmăm sfatul filozofului grec Heraclit, care, aflat abia la primii paşi ai extraordinarei poveşti care e ştiinţa, a avut înţelepciunea să ne prevină că „naturii îi place să se ascundă”. Şi, într-adevăr, îi place; să ne gândim că majoritatea forţelor şi particulelor pe care ştiinţa le consideră acum fundamentale au stat ascunse în atom până în secolul din urmă. Unii dintre contemporanii lui Heraclit vorbeau despre atomi, dar fără să ştie cu adevărat dacă aceştia existau sau nu. Iar ideea lor era greşită, fiindcă şi-au imaginat că atomii sunt indivizibili. Abia odată cu articolele lui Einstein din 1905 în ştiinţă a apărut consensul că materia e alcătuită din atomi. Şase ani mai târziu, atomul însuşi a fost

spart în bucăţi. Astfel a început descifrarea interiorului atomilor şi descoperirea lumilor ascunse acolo.

Cea mai importantă excepţie de la pudoarea naturii e gravitaţia. Este singura dintre forţele fundamentale ale cărei efecte pot fi observate de oricine fără ajutorul unor instrumente speciale.[5] Primele noastre experienţe de efort şi eşec sunt legate de gravitaţie. în consecinţă, gravitaţia trebuie să fi fost printre primele fenomene naturale cărora specia noastră le-a dat un nume.

Cu toate acestea, aspecte-cheie ale experienţei comune a căderii corpurilor au rămas ascunse vederii noastre până în zorii ştiinţei, iar multe rămân în continuare ascunse. După cum voi arăta în capitolele următoare, rămâne ascunsă relaţia dintre gravitaţie şi timp. începem aşadar călătoria noastră către descoperirea timpului cu o cădere.

*

„De ce nu pot să zbor, tăticule?”

Eram pe terasa de pe acoperiş, privind grădina din spatele casei, aflată trei etaje mai jos.

„Voi sări şi voi zbura jos la mămica în grădină, ca păsările alea.”

„Pasăre” a fost primul lui cuvânt, rostit către vrăbiile care zburătăceau în copac dincolo de fereastra din camera copiilor. Iată dilema de bază a părinţilor: le dorim copiilor noştri să fie liberi să se avânte mai departe decât noi, dar totodată ne temem pentru siguranţa lor într-o lume incertă. I-am spus cu asprime că oamenii nu pot să zboare şi categoric să nu încerce niciodată, iar el a izbucnit în plâns. Ca să-i distrag atenţia, am folosit ocazia pentru a-i vorbi despre gravitaţie. Gravitaţia e cea care ne ţine jos pe Pământ. De aceea cădem, şi de aceea toate lucrurile cad.

Următoarele cuvinte care au ieşit din gura lui au fost, deloc surprinzător, „de ce?”. Chiar şi un copil de trei ani ştie că a numi un fenomen nu înseamnă a-l explica.

Dar am putut juca un joc pentru a vedea *cum* cad lucrurile. Curând aruncam tot felul de jucării jos în grădină, făcând „sperimente” pentru a vedea dacă toate cad la fel sau nu. în scurt timp am ajuns să mă gândesc la o întrebare care depăşeşte puterea minţii unui copil de trei ani. Atunci când aruncăm un obiect şi el cade îndepărtându-se de noi, el descrie o curbă în spaţiu. Ce fel de curbă?

Nu e de mirare că un copil nu-şi pune întrebarea asta. Se pare că nimeni nu şi-a pus-o timp de mii de ani după ce ne-am considerat foarte civilizaţi. Platon, Aristotel şi alţi mari filozofi ai Antichităţii erau parese mulţumiţi să urmărească lucrurile care cădeau în jurul lor, fără să se întrebe dacă obiectele în cădere se deplasează de-a lungul unui anumit tip de curbă.

Primul om care a cercetat traiectoriile corpurilor în cădere a fost italianul Galileo Galilei, la începutul secolului XVII. El şi-a prezentat rezultatele în cartea *Dialog despre două ştiinţe noi,* pe

care a scris-o când trecuse de şaptezeci de ani, în timp ce era arestat la domiciliu de către Inchiziţie. în s cartea aceasta, el a afirmat că obiectele în cădere se deplasează întotdeauna de-a lungul aceluiaşi tip de curbă, care e o parabolă.

Galilei nu doar a descoperit cum cad corpurile, dar totodată şi-a explicat descoperirea. Faptul că obiectele în cădere descriu parabole e o consecinţă directă a altui fapt pe care el l-a observat primul, anume că toate corpurile, fie că sunt aruncate sau lăsate să cadă, cad cu acceleraţie constantă.

Observaţia lui Galilei că toate obiectele în cădere descriu o parabolă este una dintre cele mai minunate descoperiri din întreaga ştiinţă. Căderea e universală, la fel şi tipul de curbă trasat de corpurile care cad. Nu contează din ce e alcătuit obiectul, cum este asamblat sau la ce foloseşte. Cum nu contează nici de câte ori, de la ce înălţime sau cu ce viteză iniţială lăsăm să cadă sau aruncăm acel

obiect.
Putem repeta experimentul iar şi iar, şi de fiecare dată rezultatul este o parabolă. Parabola este una dintre curbele cel mai simplu de descris. Este mulţimea punctelor echidistante faţă de un punct şi o dreaptă. Prin urmare, unul dintre fenomenele universale este şi unul dintre cele mai simple.

Parabola este un concept din matematică – un exemplu de ceea ce numim obiect matematic – care le era cunoscut matematicienilor cu mult înainte de vremea lui Galilei. Observaţia lui Galilei potrivit căreia corpurile cad de-a lungul unor parabole este unul dintre primele exemple de lege a naturii – altfel spus, o regularitate în comportamentul unui mic subsistem al universului. În cazul de faţă, subsistemul este un obiect care cade aproape de suprafaţa unei planete. Aceasta s-a întâmplat de foarte multe ori şi în foarte multe locuri de la începutul universului; prin urmare, există numeroase exemple în care legea se aplică.

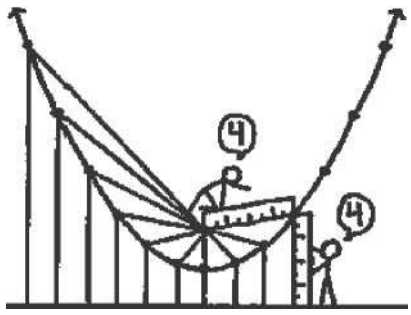


Fig. 1. Definiţia unei parabole: mulţimea punctelor echidistante faţă de un punct şi o dreaptă.

Iată o întrebare pe care o pot pune copiii când sunt ceva mai mari: ce spune despre lume faptul că obiectele în cădere descriu o asemenea curbă simplă? De ce un concept matematic precum parabola, o invenţie a gândirii pure, are legătură cu natura? Şi de ce un fenomen universal precum căderea corpurilor are un corespondent matematic care este una dintre cele mai simple şi mai frumoase curbe din toată geometria?

*

Ulterior descoperirii lui Galilei, fizicienii au folosit în mod profitabil matematica pentru descrierea fenomenelor fizice. Acum ni se pare evident că o lege trebuie să aibă

formă matematică, dar timp de aproape 2000 de ani după ce Euclid a codificat axiomele geometriei nimeni nu a propus o lege matematică aplicabilă mişcării obiectelor pe Pământ. De pe vremea vechilor greci şi până în secolul XVII, oamenii instruiţi ştiau ce este o parabolă, dar nici unul dintre ei nu pare să se fi întrebat dacă mingile, săgeţile şi alte obiecte pe care le lăsau să cadă, le aruncau sau le trăgeau cădeau de-a lungul unui anumit tip de curbă.[1] Oricare dintre ei ar fi putut face descoperirea lui Galilei; instrumentele folosite de el erau disponibile în Atena lui Platon şi în Alexandria Hypatiei. Dar nimeni nu a făcut-o. Ce s-a schimbat pentru a-l face pe Galilei să creadă că matematica are un rol în descrierea a ceva atât de simplu precum căderea obiectelor?

întrebarea aceasta ne duce în miezul unor întrebări uşor de formulat, dar la care e greu de răspuns: Cu ce se ocupă matematica? De ce intervine ea în

ştiinţă?

Obiectele matematice sunt constituite din gândire pură. Nu descoperim parabole în lume, le inventăm. O parabolă, un cerc sau o dreaptă sunt idei. Ele trebuie formulate, şi apoi captate într-o definiţie. *„Un cerc este mulţimea punctelor echidistante faţă de un singur punct. [...] O parabolă este mulţimea punctelor echidistante faţă de un punct şi o dreaptă.”* Odată ce avem conceptul, putem deduce direct din definiţia unei curbe proprietăţile sale. Aşa cum am învăţat la orele de geometrie din liceu, raţionamentul acesta poate fi formalizat ca o demonstraţie, în care fiecare argument decurge din argumente anterioare prin reguli deductive simple. în nici o etapă a acestui proces de raţionament formal observaţia sau măsurătoarea nu au vreun rol.[2]

Un desen poate aproxima proprietăţile dovedite printr-o demonstraţie, dar întotdeauna în mod imperfect. Acelaşi lucru e valabil pentru curbele pe care le

găsim în lume: curba spatelui unei pisici care se întinde sau curbura cablurilor unui pod suspendat. Ele vor trasa doar în mod aproximativ o curbă matematică; dacă privim mai îndeaproape, întotdeauna există o anumită imperfecţiune în realizarea ei. De unde paradoxul fundamental al matematicii: lucrurile pe care le studiază sunt ireale, şi totuşi cumva ele aruncă lumină asupra realităţii. Dar cum? Relaţia dintre realitate şi matematică este departe de a fi evidentă, chiar şi în cazul acesta simplu.

V-aţi putea întreba ce are de-a face explorarea matematicii cu explorarea gravitaţiei. Dar aceasta e o digresiune necesară, fiindcă matematica este la fel de importantă pentru misterul timpului ca gravitaţia, şi trebuie să identificăm relaţia dintre matematică şi natură într-un caz simplu, precum cel al corpurilor care cad dea lungul unor curbe. Altminteri, când ajungem în prezent şi întâlnim afirmaţii de genul „universul este o varietate spaţio-

temporală cvadridimensională”, vom fi dezorientaţi. Dacă în prealabil nu am navigat în ape destul de puţin adânci încât să vedem fundul, lesne vom cădea pradă unor mistificatori dornici să ne vândă fantezii metafizice radicale deghizate în ştiinţă.

Deşi în natură nu găsim niciodată cercuri şi parabole perfecte, ele au o trăsătură în comun cu obiectele naturale: rezistenta la manipularea de către fantezia şi voinţa noastră. Numărul p – raportul dintre circumferinţa unui cerc şi diametrul său – este o idee. Dar odată ce conceptul a fost inventat, valoarea lui a devenit o proprietate obiectivă, care trebuie descoperită prin raţionamente ulterioare. Au existat tentative de a legifera valoarea lui p, şi ele au dezvăluit o profundă neînţelegere. Oricât de mult am dori s-o modificăm, valoarea lui p rămâne cea care este. Acelaşi rezultat e valabil pentru toate celelalte proprietăţi ale curbelor şi ale altor obiecte matematice; aceste obiecte sunt ceea ce sunt, iar în

privinţa proprietăţilor lor putem avea dreptate sau putem greşi, dar nu le putem schimba.

Majoritatea ne împăcăm cu incapacitatea noastră de a zbura. Admitem până la urmă că nu avem nici o influenţă asupra multor aspecte ale naturii. Dar nu e puţin neliniştitor că unele concepte care există doar în minţile noastre au proprietăţi la fel de obiective şi de imune la voinţa noastră ca lucrurile din natură? Inventăm curbele şi numerele din matematică, dar odată ce le-am inventat nu le mai putem modifica.

Dar chiar dacă curbele şi numerele seamănă cu obiectele din lumea naturală prin stabilitatea proprietăţilor lor şi rezistenţa la voinţa noastră, ele nu sunt la fel ca obiectele naturale. Le lipseşte o proprietate esenţială împărtăşită de toate lucrurile din natură. Aici, în lumea naturală, întotdeauna este un anumit moment de timp. Tot ce cunoaştem în lume participă în curgerea timpului. Toate observaţiile asupra lumii pe care le

facem pot fi datate. Fiecare dintre noi, şi tot ce cunoaştem în natură, există un anumit interval de timp; înainte şi după acel interval, noi şi toate celelalte nu existăm.

Curbele şi alte obiecte matematice nu trăiesc în timp. Valoarea lui p nu e însoţită de o dată înainte de care a fost diferită, sau nedefinită, şi după care se va schimba. Dacă e adevărat că două drepte paralele nu se întâlnesc niciodată într-un plan aşa cum a fost el definit de Euclid, atunci întotdeauna a fost şi întotdeauna va fi adevărat. Afirmaţiile despre obiecte matematice precum curbele şi numerele sunt adevărate într-un mod care nu are nevoie de nici o precizare în legătură cu timpul. Obiectele matematice transcend timpul. Dar cum poate să existe ceva fără să existe în timp?[3]

Oamenii dezbat aceste chestiuni de milenii, iar filozofii nu au ajuns încă la un acord în privinţa lor. Dar o propunere se află pe masă încă de când aceste probleme au fost puse prima oară în discuţie. Ea afirmă că

numerele, curbele şi alte obiecte matematice există la fel de ferm ca şi lucrurile pe care le vedem în natură – atâta doar că ele nu sunt în lumea noastră, ci într-un alt tărâm, un tărâm fără timp. Prin urmare *nu* există două feluri de lucruri în lumea noastră, unele supuse timpului şi altele eterne. Există în schimb două lumi: una supusă timpului şi una eternă.

Ideea că obiectele matematice există într-o lume separată, atemporală, este deseori asociată cu Platon. El a afirmat că atunci când matematica vorbeşte despre un triunghi, nu este nici unul dintre triunghiurile din lume, ci un triunghi ideal, care e la fel de (şi chiar mai) real, dar există într-un alt tărâm, aflat în afara timpului. Teorema conform căreia suma unghiurilor unui triunghi este
180 de grade nu este riguros adevărată pentru nici un triunghi real din lumea fizică, dar este absolut şi riguros adevărată pentru acel triunghi matematic ideal care există în lumea matematică. Prin

urmare, atunci când demon-străm teorema, dobândim cunoştinţe despre ceva care există în afara timpului şi dovedim un adevăr care, de asemenea, nu e legat de prezent, trecut sau viitor.

Dacă Platon are dreptate, atunci doar prin raţionament noi, fiinţele umane, putem transcende timpul şi afla adevăruri eterne despre un tărâm etern al existenţei. Unii matematicieni susţin că au dedus cunoştinţe certe despre tărâmul platonic. Afirmaţia aceasta, dacă e adevărată, le conferă o urmă de divinitate. Cum îşi imaginează ei că le-au extras? Este afirmaţia lor credibilă?

Când vreau o doză de platonism, iau prânzul împreună cu prietenul meu Jim Brown. Amândoi savurăm o mâncare bună, iar în timpul acesta el îmi explică cu răbdare, şi nu pentru prima oară, argumentele în favoarea realităţii eterne a lumii matematice. Jim este neobişnuit printre filozofi prin aceea că reuneşte o minte ascuţită şi o dispoziţie radioasă. Simţi că e

fericit în viaţă şi este o bucurie să-l cunoşti. E un bun filozof; cunoaşte toate argumentele fiecărei părţi şi nu are reţineri să le discute pe acelea pe care nu le poate respinge. Dar mi-a fost imposibil să-i zdruncin încrederea în existenta unui tărâm etern al obiectelor matematice. Mă întreb uneori dacă credinţa lui în adevăruri î
aflate dincolo de puterea de înţelegere a oamenilor nu contribuie la fericirea lui ca om.

O întrebare la care Jim şi alţi platonicieni admit că le este greu să răspundă este cum putem noi, fiinţe umane care trăim limitate în timp, în contact numai cu alte lucruri limitate în mod similar, să avem o cunoaştere precisă a tărâmului atemporal al matematicii. Accedem la adevărurile matematicii prin raţionament, dar putem fi realmente siguri că raţionamentul nostru e corect? De fapt, nu putem. Din când în când sunt descoperite erori în demonstraţii publicate în manuale, prin urmare probabil că mai rămân erori. Putem încerca să

scăpăm de dificultate afirmând că obiectele matematice nu există deloc, nici chiar în afara timpului. Dar ce sens are să afirmăm că avem cunoştinţe sigure despre domeniul unor obiecte inexistente?

Un alt prieten cu care discut despre platonism este fizicianul şi matematicianul englez Roger Penrose. El susţine că adevărurile lumii matematice au o realitate care nu e captată de nici un sistem de axiome. El îl urmează pe marele logician Kurt Godel în afirmaţia că raţiunea ne poate conduce direct la adevăruri despre tărâmul matematic – adevăruri care transcend demonstraţia axiomatică formală. Odată, el mi-a spus ceva de felul acesta: „Eşti absolut sigur că unu şi cu unu fac doi. Este un fapt despre lumea matematică pe care-l poţi înţelege intuitiv şi de care poţi fi sigur. Prin urmare unu-şi-cu-unu-fac-doi este, prin sine însuşi, o dovadă suficientă că raţiunea poate transcende timpul. Dar doi şi cu doi fac patru? Şi de asta eşti sigur! Ce zici de cinci şi cu cinci fac zece? Nu

ai nici o îndoială, nu-i aşa? Prin urmare există un număr foarte mare de fapte despre tărâmul atemporal al matematicii pe care eşti convins că le cunoşti.” Penrose crede că minţile noastre pot transcende fluxul în permanentă schimbare al experienţei şi atinge o realitate atemporală eternă aflată dincolo de ea.[4]

Am descoperit fenomenul gravitaţiei când ne-am dat seama că experienţa căderii este întâlnirea cu un fenomen natural universal, în încercările noastre de a înţelege acest fenomen am desluşit o regularitate uimitoare: toate obiectele cad de-a lungul unei curbe simple inventată de antici şi numită parabolă. Putem astfel stabili o legătură între un fenomen universal care afectează lucrurile vremelnice din lume şi un concept inventat care, în perfecţiunea lui, sugerează posibilitatea unor adevăruri — şi a unei existenţe – în afara timpului. Dacă eşti platonician, precum Brown şi Penrose, descoperirea că în mod universal corpurile cad de-a

lungul unor parabole nu este nici mai mult nici mai puţin decât percepţia unei relaţii între lumea noastră terestră vremelnică şi o altă lume, atemporală, a adevărului şi frumuseţii eterne. Descoperirea simplă a lui Galilei capătă atunci o semnificaţie transcendentă sau religioasă: este descoperirea unei reflexii a divinităţii eterne acţionând în mod universal în lumea noastră. Căderea unui corp, care în lumea noastră imperfectă se petrece în timp, dezvăluie perfecţiunea atemporală esenţială a naturii.

Această viziune a transcenderii către atemporal prin intermediul ştiinţei i-a atras pe mulţi spre ştiinţă, inclusiv pe mine, dar acum sunt convins că e falsă. Visul transcendenţei are un defect fatal esenţial, legat de pretenţia lui de a explica temporalul prin atemporal. Fiindcă nu avem acces fizic la lumea atemporală imaginată, mai devreme sau mai târziu vom ajunge să născocim lucruri (voi prezenta exemple pentru acest neajuns în

capitolele următoare). Există o ieftinătate în centrul oricărei alegaţii că universul nostru este explicat în ultimă instanţă de o altă lume, „mai perfectă”, separată de tot ce percepem. Dacă cedăm acestei alegaţii, facem ca graniţa dintre ştiinţă şi misticism să devină permeabilă.

Dorinţa noastră de transcendentă este la origine o aspiraţie religioasă. Năzuinţa de a fi eliberaţi de moarte şi de suferinţele şi limitările din viata noastră este combustibilul pentru religie şi misticism. Căutarea cunoaşterii matematice ne transformă oare într-un fel de preoţi, cu acces special la o formă de cunoaştere extraordinară? Trebuie pur şi simplu să recunoaştem în matematică o activitate religioasă? Sau ar trebui să ne îngrijorăm atunci când gânditorii noştri cei mai raţionali, matematicienii, vorbesc despre ceea ce fac ei ca şi cum ar fi calea către depăşirea limitelor vieţii umane?

Este mult mai dificil să acceptăm

disciplina conform căreia trebuie să explicăm universul pe care îl percepem şi experimentăm doar prin el însuşi – să explicăm realul doar prin real, şi temporalul doar prin temporal. Dar deşi e mai dificilă, calea aceasta restrictivă, mai puţin romantică, va avea în cele din urmă mai mult succes. Răsplata care ne aşteaptă este de a înţelege, în sfârşit, semnificaţia timpului în propriii săi termeni.

2. Dispariţia timpului

Galilei nu a fost primul care să asocieze mişcarea cu curbele. El a fost doar primul care a făcut-o pentru mişcarea pe Pământ. Un motiv pentru care nimănui înaintea lui Galilei nu i-a venit ideea că obiectele cad dea lungul unor parabole este că nimeni nu percepuse acele parabole în mod direct. Traiectoriile corpurilor în cădere erau pur şi simplu prea rapide pentru a fi văzute.[1] Dar cu mult înaintea lui Galilei, oamenii au avut exemple de mişcări sufficient de lente pentru a fi înregistrate cu uşurinţă. Acestea erau mişcările Soarelui, ale Lunii şi ale planetelor pe cer. Platon şi discipolii săi dispuneau de înregistrări ale poziţiilor acestora, pe care egiptenii şi babilonienii le consemnau de mii de ani.

Astfel de înregistrări i-au uimit şi încântat pe cei care le-au studiat,

fiindcă ele conţineau tipare – unele evidente, precum mişcarea anuală a Soarelui, iar altele departe de a fi evidente, precum ciclul de optsprezece ani şi unsprezece zile descoperit în succesiunea eclipselor solare. Aceste tipare erau indicii privind adevărata structură a universului în care se găseau anticii. Timp de multe secole, savanţii s-au străduit să le descifreze, iar prin aceste eforturi matematica a pătruns pentru prima oară în ştiinţă.

Dar acesta nu e întregul răspuns. Galilei nu a folosit nici un instrument pe care să nu-l fi avut la dispoziţie grecii antici, prin urmare trebuie să fi existat un motiv conceptual pentru care nu s-au făcut progrese legate de mişcarea pe Pământ. Să fi avut predecesorii lui Galilei o pată oarbă pentru mişcarea pe Pământ, iar Galilei nu? Ce credeau ei, iar el nu credea?

Să examinăm descoperirea unuia dintre cele mai simple şi mai profunde tipare observate de astronomii antici. Cuvântul

„planetă” provine din cuvântul grecesc care înseamnă rătăcitor, dar planetele nu rătăcesc pe tot întinsul cerului. Ele se mişcă de-a lungul unui cerc mare numit ecliptică, o orbită fixă în raport cu stelele. Descoperirea eclipticii trebuie să fi fost primul pas în descifrarea înregistrărilor poziţiilor planetare.

Un cerc este un obiect matematic definit printr-o regulă simplă. Ce semnifică descoperirea unui cerc în mişcările de pe cer? Este manifestarea unui fenomen atemporal în lumea efemeră supusă timpului? Poate că noi aşa am interpreta-o, dar nu astfel au înţeles-o anticii. Pentru antici, universul era scindat în două tărâmuri: cel terestru, domeniul naşterii şi al morţii, al schimbării şi descompunerii, şi tărâmul ceresc de deasupra, un loc al perfecţiunii eterne. Pentru ei, cerul deja era un tărâm transcendent, populat cu obiecte divine nesupuse creşterii sau descompunerii. Aceasta era, la urma urmei, ceea ce vedeau.

Aristotel însuşi a observat că „pe tot parcursul trecutului, după amintirile păstrate prin tradiţie, nu se constată nici o schimbare, nici a cerului în întregul său, nici a părţilor sale”.[2]

Dacă obiectele din acest tărâm divin se mişcă, mişcările lor nu pot fi decât perfecte, şi ca atare eterne. Pentru antici, era evident că planetele se mişcă de-a lungul unui cerc deoarece, fiind divine şi perfecte, nu se pot mişca decât de-a lungul celei mai desăvârşite curbe. Dar tărâmul terestru nu este perfect, de aceea lor li s-ar fi părut bizar să descrie mişcarea pe Pământ în termenii unor curbe matematice perfecte.

Divizarea lumii într-un tărâm terestru şi sferele cereşti era codificată în fizica aristotelică. Totul în tărâmul terestru era alcătuit dintr-un amestec de patru elemente:
pământ, aer, foc şi apă. Fiecare avea o mişcare naturală: mişcarea naturală a pământului, de exemplu, era să caute centrul universului.

Schimbarea rezulta din amestecul acestor patru esenţe. Eterul era al cincilea element, chintesenţa, care alcătuia tărâmul ceresc şi obiectele care se mişcau prin el.

Diviziunea aceasta se afla la originea legăturii dintre înălţime şi transcendenţă. Dumnezeu, cerurile, perfecţiunea – acestea sunt deasupra noastră, în vreme ce noi suntem captivi aici, jos. Din această perspectivă, descoperirea că mişcările de pe cer descriu forme matematice are sens, deoarece atât tărâmul matematic, cât şi cel celest transcend timpul şi schimbarea. A le cunoaşte pe acestea înseamnă a transcende tărâmul terestru.

Matematica, aşadar, a pătruns în ştiinţă ca o expresie a credinţei în perfecţiunea eternă a cerurilor. Oricât de utilă s-a dovedit a fi matematica, postularea unor legi matematice atemporale nu este niciodată complet inocentă, fiindcă întotdeauna poartă o urmă a fanteziei metafizice a transcenderii lumii terestre către o lume a formelor perfecte.

Mult timp după ce ştiinţa a depăşit cosmosul anticilor, forma sa de bază continuă să influenţeze limbajul cotidian şi metaforele. Vorbim despre a fi la înălţimea ocaziei. Privim în sus pentru inspiraţie. Pe când a cădea („a cădea în păcat”, de exemplu) înseamnă a ceda sau a pierde controlul. Mai mult, opoziţia dintre „ascensiune” şi „cădere” simbolizează conflictul dintre corporal şi spiritual. Raiul este deasupra noastră. Iadul este dedesubt. Când ne facem de râs, intrăm în pământ de ruşine. Dumnezeu şi toate aspiraţiile noastre supreme sunt deasupra noastră.

Muzica a fost un alt mod prin care anticii au experimentat transcendentul. Ascultând muzică, avem adesea experienţa unei frumuseţi profunde care ne „scoate din timp”. Nu e surprinzător că dincolo de frumuseţea muzicii anticii au perceput mistere matematice care aşteptau să fie descifrate. Printre marile

descoperiri ale şcolii lui Pitagora a fost asocierea armoniilor muzicale cu raporturi numerice simple. Pentru antici, acesta a fost un al doilea indiciu că în matematică sunt captate tiparele divine. Cunoaştem puţine amănunte personale despre Pitagora şi adepţii lui, dar ne putem imagina că ei au observat că afinitatea pentru matematică însoţeşte adesea un talent pentru muzică. Noi am spune că matematicienii şi muzicienii au în comun capacitatea de a recunoaşte, a crea şi a manipula tipare abstracte. Anticii ar fi vorbit mai degrabă despre capacitatea lor comună de a percepe divinul.

Galilei a fost în contact cu muzica în copilărie, înainte să fi devenit om de ştiinţă.[3] Tatăl său, Vincenzo Galilei, a fost compozitor şi un influent teoretician al muzicii, despre care se spune că a întins corzi de vioară în podul casei lor din Pisa pentru ca tânărul său fiu să perceapă relaţia dintre armonie şi raporturile numerice. Plictisindu-se în timpul unei slujbe la catedrala

din Pisa, Galilei a observat că timpul necesar unui candelabru să oscileze dintr-o parte într-alta era independent de amplitudinea oscilaţiei. Independenţa perioadei (timpul necesar pentru o oscilaţie completă sau o parcurgere a orbitei) de amplitudinea unui pendul a fost una dintre primele sale descoperiri. Cum a reuşit? Noi am folosi un ceas sau un cronometru, dar Galilei nu dispunea de aşa ceva. Ne putem imagina că pur şi simplu cânta în timp ce urmărea candelabrul legănându-se deasupra capului său, fiindcă mai târziu a susţinut că poate măsura timpul cu o precizie de o zecime de puls.

Galilei a făcut dovada unor calităţi de muzician şi atunci când a pledat cauza copernicană. El şi-a scris ideile în italiană în loc de latină, limba erudiţilor, transmiţându- le cu însufleţire prin intermediul unor dialoguri în care personaje imaginare discută despre ştiinţă în timp ce iau masa împreună sau se plimbă. Pentru

aceasta el este elogiat ca un democrat care a dispreţuit ierarhia Bisericii şi a universităţii adresându-se direct inteligenţei omului de rând.

Polemist şi experimentator strălucit, ceea ce uimeşte însă în opera lui Galilei sunt noile întrebări pe care le-a pus – mulţumită în parte eliberării de vechile dogme, care a fost moştenirea Renaşterii italiene. Vechea distincţie dintre tărâmurile terestru şi divin, care mult timp i-a împiedicat pe oameni să gândească, pare să nu-l fi impresionat pe Galilei. Leonardo descoperise proporţia şi armonia în forma statică, dar Galilei a căutat armonia matematică în mişcările obişnuite, precum cele ale pendulelor sau ale bilelor care se rostogolesc pe planuri înclinate, înainte de a fi democrat în strategia lui de comunicare, el a fost democrat în privinţa universului.

Galilei a distrus divinitatea cerului atunci când a descoperit că perfecţiunea celestă era o minciună. Nu el a inventat telescopul, şi poate

că nu a fost singurul care a folosit noua invenţie pentru a privi cerul. Dar perspectiva şi talentele sale unice l-au determinat să facă mare caz de ceea ce a văzut acolo, anume imperfecţiune. Soarele are pete. Luna nu este o sferă perfectă de chintesenţă; ea are munţi, la fel ca Pământul. Saturn are o formă triplă ciudată. Jupiter are sateliţi, şi sunt mult mai multe stele decât se văd cu ochiul liber.

Acest declin al divinităţii fusese anticipat cu câţiva ani mai înainte, în 1577, când astronomul danez Tycho Brahe a observat o cometă penetrând sferele perfecte ale Cerului. Tycho a fost ultimul şi cel mai mare dintre astronomii erei pretelescopice, şi împreună cu asistenţii săi a acumulat de-a lungul vieţii cele mai bune măsurători ale mişcărilor planetare din câte fuseseră făcute vreodată. Acestea au rămas nedescifrate în însemnările sale până în 1600, când a angajat un tânăr asistent irascibil, pe Johannes Kepler.

Planetele se mişcă de-a lungul

eclipticii, dar mişcarea lor nu e consecventă. Toate se mişcă în aceeaşi direcţie, dar din când în când se opresc şi se întorc, deplasându-se un timp în sens opus. Mişcarea aceasta retrogradă a fost un mare mister pentru antici. Semnificaţia sa reală este că şi Pământul e o planetă, care se mişcă în jurul Soarelui asemenea celorlalte planete. Planetele par că se opresc şi-şi schimbă direcţia doar din perspectiva Pământului. Pe cerul nostru Marte se mişcă spre est atunci când este înaintea noastră şi-şi schimbă direcţia când Pământul îl ajunge din urmă. Mişcarea sa retrogradă este doar un efect al mişcării Pământului, dar anticii nu puteau vedea lucrurile astfel, fiindcă erau prizonierii ideii false că Pământul este imobil în centrul universului. întrucât Pământul e nemişcat, mişcarea observată a planetelor trebuie să fie mişcarea lor reală; prin urmare astronomii antici trebuiau să explice mişcările retrograde ca şi cum ar fi fost provocate de mişcarea

intrinsecă a planetelor. în acest scop, ei au imaginat un aranjament greoi implicând două tipuri de cercuri, în care fiecare planetă descria un cerc mic al cărui centru se rotea la rândul său în jurul Pământului pe un cerc mai mare.

Epiciclurile, cum erau numite cercurile mici, se roteau cu o perioadă de un an terestru, ele nefiind altceva decât umbra mişcării Pământului. Alte ajustări necesitau şi mai multe cercuri; pentru ca totul să funcţioneze era nevoie de cincizeci şi cinci de cercuri. Atribuind perioade adecvate fiecăruia dintre cercurile mari, astronomul alexandrin Ptolemeu a calibrat modelul la un grad de precizie remarcabil. Câteva secole mai târziu, astronomii islamici au reglat şi mai fin modelul ptolemaic, iar în vremea lui Tycho el prezicea poziţiile planetelor, ale Soarelui şi ale Lunii cu o precizie de 1 la 1 000 — suficient pentru a fi în acord cu majoritatea observaţiilor lui Tycho. Modelul lui Ptolemeu era frumos din punct de vedere matematic, iar

succesele sale i-au convins pe astronomi şi pe teologi vreme de peste un mileniu că premisele sale erau corecte. Şi cum ar putea fi greşite? La urma urmei, modelul fusese confirmat prin observaţie.

Există o lecţie aici, anume că nici frumuseţea matematică, nici acordul cu experimentul nu pot garanta că ideile pe care se bazează o teorie au cea mai vagă legătură cu realitatea. Uneori o descifrare a tiparelor din natură ne duce într-o direcţie greşită. Uneori ne înşelăm grav, ca indivizi şi ca societate. Ptolemeu şi Aristotel nu erau mai puţin ştiinţifici decât oamenii de ştiinţă din prezent. Doar că au avut neşansa ca mai multe ipoteze false să conspire pentru a funcţiona bine împreună. Nu există vreun alt antidot pentru capacitatea noastră de a ne
înşela decât să continuăm procesul ştiinţific, aşa încât erorile să fie până la urmă obligate să iasă la lumină.

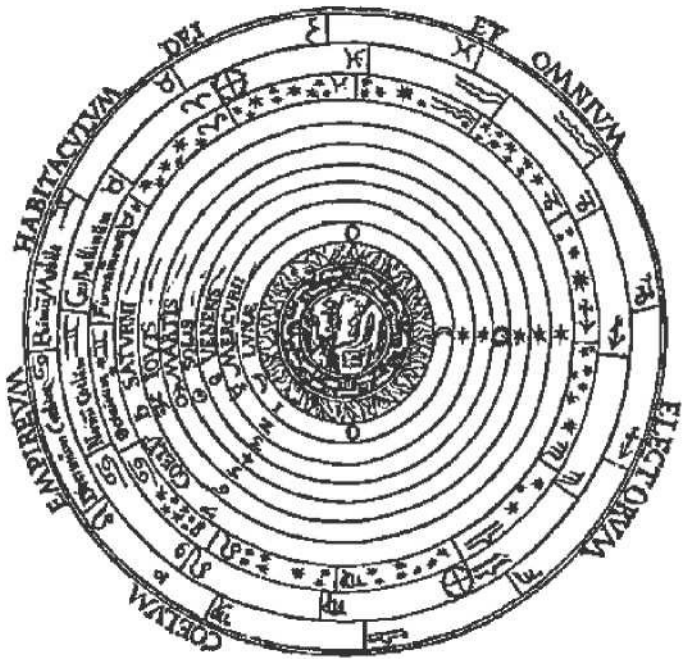


Fig. 2. O schemă a viziunii ptolemaice asupra universului.[4]

Copemic a fost cel care a descifrat semnificaţia faptului că toate epiciclurile au aceeaşi perioadă şi se mişcă în fază cu orbita Soarelui. El a pus Pământul în locul său corect, ca o planetă, şi Soarele aproape de centrul universului. Asta a simplificat modelul, dar a introdus o tensiune căreia cosmologia antică nu i-a putut supravieţui. De ce ar fi sfera Pământului diferită de sferele cereşti, dacă Pământul nu e decât una dintre planetele care se deplasează prin spaţiile celeste?

Copemic a fost totuşi un revoluţionar şovăielnic căruia i-au scăpat alte indicii. Unul important a fost că şi după ce s-a ţinut seama de

mişcarea Pământului, orbitele planetelor nu erau cercuri perfecte. Incapabil să renunţe la ideea că mişcările de pe cer trebuie să se compună din cercuri, Copernic a rezolvat problema la fel ca Ptolemeu cu paisprezece secole mai înainte. El a introdus epiciclurile necesare pentru a pune în acord teoria cu datele.

Orbita cea mai puţin circulară este a lui Marte. A fost marele noroc al lui Kepler – şi al ştiinţei de asemenea – că Tycho i-a încredinţat lui Kepler problema descifrării orbitei lui Marte. Lucrând vreme de multi ani după ce părăsise serviciul lui Tycho, Kepler a descoperit că Marte descrie în spaţiu o elipsă, nu un cerc.

Caracterul revoluţionar al acestei descoperiri nu e[3] pesemne evident unui cititor modern. Intr-o cosmologie geocentrică, planetele nu descriu o curbă închisă, fiindcă traiectoriile lor în raport cu Pământul rezultă din combinarea a două mişcări circulare cu perioade diferite. Orbitele formează curbe

închise numai dacă sunt reprezentate în raport cu Soarele. Doar atunci se poate pune întrebarea care e forma unei orbite. Aşezând Soarele în centru, armonia lumii devine aşadar mai profundă.

Odată ce s-a înţeles că orbitele planetelor sunt elipse, puterea explicativă a teoriei lui Ptolemeu a fost zdruncinată. S-au pus o serie de noi întrebări: *De ce* se mişcă planetele pe orbite eliptice? Şi ce le împiedică să se răzleţească? în fond, ce le obligă să se mişte, în loc să stea pur şi simplu locului în spaţiu? Răspunsul lui Kepler a fost o presupunere hazardată ce s-a dovedit a fi pe jumătate corectă: *Planetele se mişcă pe orbitele lor datorită unei forţe provenind din Soare.* Imaginaţi-vă Soarele ca pe o caracatiţă care se învârte, tentaculele sale antrenând planetele în mişcarea de rotaţie. A fost pentru prima oară când cineva a sugerat Soarele ca sursa unei forţe care influenţează planetele. El a greşit doar în privinţa direcţiei forţei.

Tycho şi Kepler au nimicit sferele

cereşti, iar astfel au unificat lumea. Această unificare a avut implicaţii serioase pentru înţelegerea timpului. în cosmologia lui Aristotel şi Ptolemeu, un tărâm atemporal al perfecţiunii eterne înconjoară tărâmul terestru. Creşterea, descompunerea, schimbarea, toate dovezile unei lumi sub stăpânirea timpului, sunt limitate la micul domeniu aflat sub sfera Lunii. Deasupra nu există decât mişcarea circulară, imuabilă şi eternă. Acum, că sfera care separă temporalul de atemporal a fost sfărâmată, nu mai putea fi decât o singură noţiune de timp. Noua lume va fi pretutindeni sub stăpânirea timpului, întregul univers fiind supus creşterii şi descompunerii? Sau perfecţiunea eternă se va extinde asupra întregii creaţii, încât schimbarea, naşterea şi moartea să fie percepute ca simple iluzii? Ne vom strădui să răspundem la această întrebare.

Kepler şi Galilei nu au rezolvat misterul relaţiei dintre tărâmul divin, etern, al matematicii şi lumea reală în care trăim. Ei l- au adâncit.

Au doborât bariera dintre cer şi Pământ, punând Pământul pe cer ca una dintre planetele divine. Au descoperit curbe matematice în mişcările corpurilor pe Pământ şi ale planetelor în jurul Soarelui. Dar nu au putut remedia sciziunea fundamentală dintre realitatea supusă timpului şi matematica atemporală.

La jumătatea secolului XVII, oamenii de ştiinţă şi filozofii s-au confruntat cu o opţiune radicală. Sau lumea este matematică în esenţa ei, sau ea trăieşte în timp. Două indicii despre natura realităţii pluteau în aer, în aşteptare şi nerezolvate. Kepler descoperise că planetele se mişcă de-a lungul unor elipse. Galilei descoperise că obiectele în cădere se mişcă de-a lungul unor parabole.

Ambele mişcări erau exprimate prin curbe matematice simple şi ambele reprezentau o descifrare parţială a secretului mişcării. Separat, ele erau descoperiri profunde; împreună, erau germenii Revoluţiei Ştiinţifice pe cale să înflorească.

Aceasta aduce oarecum cu situaţia actuală din fizica teoretică. Avem două descoperiri majore, teoria cuantică şi relativitatea generală, pe care încercăm să le unificăm. Am lucrat la problema aceasta cea mai mare parte a vieţii şi sunt impresionat de progresele care s-au făcut. în acelaşi timp, sunt sigur că cheia soluţiei este o idee simplă, ascunsă vederii. A admite că progresul poate fi oprit în aşteptarea unei invenţii cu nimic mai substanţială decât o

idee, este umilitor, dar s-a mai întâmplat şi înainte. Revoluţia Ştiinţifică lansată de descoperirile simple ale lui Galilei şi Kepler a fost mult timp întârziată din cauza ideii că universul este divizat într-un tărâm terestru şi unul celest. Ideea aceasta a împiedicat aplicarea deplină a matematicii la lumea inferioară, în vreme ce înţelegerea lumii superioare a fost zădărnicită de credinţa că nu era nevoie să fie căutate cauzele mişcărilor cereşti perfecte.

E tulburător să ne gândim ce s-ar fi putut întâmpla dacă aceste erori conceptuale fundamentale n-ar fi orbit, timp de peste 1 000 de ani, gândirea oamenilor inteligenţi care dispuneau de datele şi de matematica necesare pentru a face paşii pe care i-a făcut Galilei. Un astronom elenistic sau islamic ar fi putut face unele sau toate descoperirile lui Kepler pe baza datelor disponibile cu 1 000 de ani înaintea lui Tycho. Ideea că Pământul se roteşte în jurul Soarelui nu a trebuit să-l aştepte pe Copernic; ea se afla pe masă încă de când fusese propusă de Aristarchos în secolul III î.Cr. Cosmologia lui heliocentrică a fost discutată de Ptolemeu şi alţii şi a fost probabil cunoscută unor mari învăţaţi precum Hypatia, o matematiciană şi filozoafă strălucită care a trăit la Alexandria între aproximativ 360 şi 415 d.Cr. Dacă ea sau unul dintre discipolii ei inteligenţi ar fi descoperit legea lui Galilei a căderii corpurilor, sau orbitele eliptice ale lui Kepler?[5] Ar fi putut exista un

Newton în secolul VI, iar Revoluţia Ştiinţifică ar fi putut începe cu 1 000 de ani mai devreme.

Istoricii pot obiecta că descoperirile lui Copernic, Galilei şi Kepler nu erau posibile înainte ca Renaşterea să fi pregătit drumul eliberându-i pe gânditori de dogmatismul
Evului întunecat. Dar pe vremea Hypatiei Evul întunecat încă nu începuse, iar lupta dintre exponenţii culturii greceşti şi fundamentalismul religios încă nu omorâse spiritul cercetării raţionale. Istoria putea fi foarte diferită dacă cineva din Alexandria romană, sau din marile centre de învăţătură care au înflorit în lumea islamică câteva secole mai târziu, ar fi abandonat universul geocentric. Totuşi, savanţii cei mai străluciţi, în condiţiile cele mai bune, nu au putut face saltul conceptual de a imagina că legile matematice care guvernează mişcarea în sfera terestră, sau forţele dinamice, joacă un rol în cer. A fost nevoie ca sferele care separă cele două

tărâmuri să fie sfărâmate pentru ca Galilei şi Kepler să-şi poată face descoperirile.

Dar nici ei nu au putut face pasul următor, acela de a vedea unitatea dintre parabola terestră şi elipsa planetară. Pentru aceasta a fost nevoie de Isaac Newton.

Fiindcă au trăit după sfărâmarea sferelor, Galilei şi Kepler s-ar fi putut întreba dacă un obiect aruncat cu destulă putere începe să orbiteze, sau dacă încetinirea mişcării orbitale duce la cădere. Pentru noi este limpede că acestea nu sunt două fenomene distincte, ci unul singur. Dar pentru ei nu era evident. Uneori este nevoie de o generaţie sau mai multe pentru ca implicaţiile cele mai simple ale noilor descoperiri să se impună atenţiei. O jumătate de secol mai târziu, Newton a înţeles că mişcarea orbitală este o formă de cădere şi a încheiat unificarea cerului cu Pământul.

Un indiciu a fost unitatea matematică a celor două curbe care codifică mişcarea. Elipsele descriu

orbitele planetare, iar parabolele descriu traiectoriile corpurilor care cad pe Pământ. Aceste două curbe sunt strâns înrudite: ambele pot fi obţinute prin intersectarea unui con cu un plan. Curbele care pot fi construite în felul acesta se numesc secţiuni conice; celelalte exemple sunt cercurile şi hiperbolele.

Problema pentru a doua jumătate a secolului XVII a fost să descopere unitatea fizică subiacentă acestei unităţi matematice. Intuiţia care l-a îndemnat pe Newton să iniţieze Revoluţia Ştiinţifică a fost asupra naturii, nu a matematicii, şi nu a fost doar a lui. Mai mulţi dintre contemporanii săi înţeleseseră marele secret: *Forţa care obligă totul pe Pământ să cadă spre el este universală şi acţionează de asemenea pentru a atrage planetele către Soare şi Luna către Pământ.* Gravitaţia.

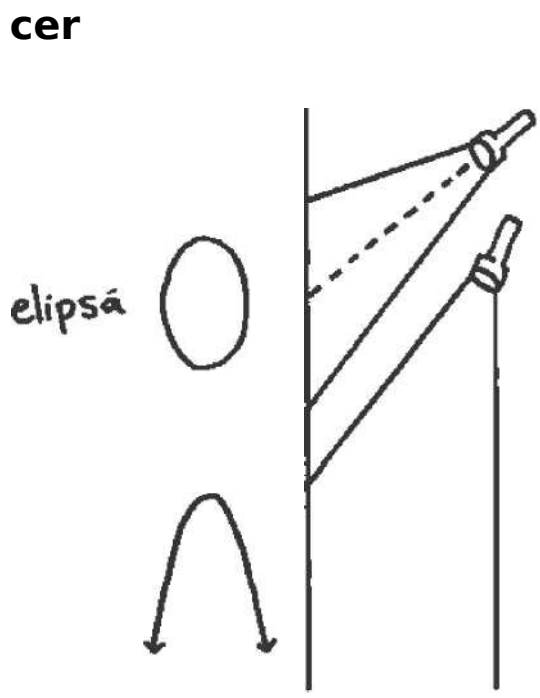


Fig. 3. Secţiunile conice ilustrate cu ajutorul
imaginii proiectate de o lanternă pe un perete.

Potrivit legendei, Newton a avut această revelaţie în timp ce stătea în grădina lui şi se gândea la mişcarea Lunii, observând totodată merele care cădeau din pom. întru completarea gândului, el a pus o altă întrebare crucială: cum descreşte acea forţă cu distanta dintre obiecte? Fiindcă ea trebuie să descrească, altminteri am fi atraşi mai mult de Soare decât de Pământ. Şi cum produce mişcare o forţă?

Şi alţii au pus aceste întrebări, de pildă Robert Hooke, contemporanul lui Newton, dar adevărata realizare a lui Newton au fost răspunsurile la

ele. Eforturile sale au durat două decenii şi au avut ca rezultat teoria mişcării şi a forţelor pe care o numim fizica newtoniană.

Pentru scopurile noastre, aspectul cel mai important legat de aceste întrebări este că sunt matematice. Modul cum descreşte o forţă în funcţie de distanţă poate fi specificat printr-o ecuaţie simplă. Răspunsul corect, aşa cum ştie orice elev din primul an în care studiază fizica, este că forţa scade direct proporţional cu pătratul distanţei. Consecinţa frapantă pentru perspectiva noastră asupra naturii este că o asemenea relaţie matematică simplă surprinde un fenomen universal din natură. Nu era necesar ca natura să fie atât de uimitor de simplă – şi, într-adevăr, anticii nu avuseseră niciodată în vedere o asemenea aplicare simplă şi universală a matematicii la cauzele mişcării.

Pentru a investiga în ce fel o forţă produce mişcare, gândiţi-vă la un obiect care se mişcă şi descrie o curbă în spaţiu. întrebarea atunci

este cum diferă curba dacă asupra obiectului acţionează sau nu o forţă. Răspunsul este enunţat în primele două legi ale lui Newton. Dacă nu există nici o forţă, curba de-a lungul căreia se mişcă corpul este o linie dreaptă. Prezenţa unei forţe produce o accelerare a corpului.

Este imposibil să enunţăm aceste legi fără matematică. O linie dreaptă este un concept matematic ideal; ea nu există în lumea noastră, ci în lumea platoniciană a curbelor ideale. Şi ce este acceleraţia? Este rata de schimbare a vitezei, care la rândul ei este rata de schimbare a poziţiei. Pentru a descrie adecvat acest lucru, Newton a trebuit să inventeze o întreagă nouă ramură a matematicii: calculul infinitezimal.

Odată ce dispunem de matematica necesară, consecinţele pot fi deduse în mod direct. Una dintre primele întrebări la care a trebuit să răspundă Newton cu ajutorul noilor sale instrumente[6] a fost ce traiectorie urmează o planetă sub acţiunea unei forţe produse de Soare şi care scade

direct proporţional cu pătratul distanţei. Răspunsul: traiectoria poate fi o elipsă, o parabolă sau o hiperbolă, după cum planetele se mişcă pe orbite închise sau trec o singură dată prin dreptul Soarelui. Newton a reuşit de asemenea să înglobeze legile căderii ale lui Galilei în legea lui a gravitaţiei.[7] Galilei şi Kepler văzuseră aşadar aspecte diferite ale unui singur fenomen, care este gravitaţia.

Puţine lucruri în istoria gândirii umane sunt mai profunde decât descoperirea identităţii ascunse între cădere şi mişcarea orbitală. Dar enorma realizare a lui Newton are şi o consecinţă neintenţionată, anume că datorită operei sale perspectiva noastră asupra naturii a devenit mult mai matematică decât era înainte. Aristotel şi contemporanii săi descriseseră mişcarea în termenii unor tendinţe: obiectele pământeşti tind să caute centrul Pământului, aerul tinde să se îndepărteze de centru şi aşa mai departe. Ştiinţa lor a fost esenţialmente descriptivă. Nu există

nici o sugestie că traiectoriile de-a lungul cărora se deplasează obiectele ar avea proprietăţi speciale, şi ca atare ei nu au fost interesaţi să aplice matematica la descrierea mişcării Pământului. Matematica, fiind atemporală, era divină şi aplicabilă doar acelor fenomene divine şi atemporale pe care le vedem pe cer.

Când Galilei a descoperit că traiectoria corpurilor în cădere este o curbă matematică simplă, el a surprins un aspect al divinului, l- a coborât din cer şi a arătat că poate fi descoperit în mişcarea obiectelor obişnuite de pe Pământ. Newton a demonstrat că imensa varietate a mişcărilor de pe Pământ şi din cer, indiferent că sunt provocate de gravitaţie sau de alte forţe, sunt manifestări ale unei unităţi ascunse. Diversele mişcări sunt toate consecinţe ale unei singure *legi de mişcare.*

De când Newton a încheiat unirea mişcărilor din cer şi de pe Pământ, trăim într-o singură lume, unificată. Şi este o lume impregnată de

divinitate, fiindcă matematica atemporală este esenţa oricărei mişcări, pe Pământ şi în cer. Dacă atemporalitatea şi eternitatea sunt aspecte ale divinului, atunci lumea noastră – sau, mai bine zis, întreaga istorie a lumii noastre – poate fi la fel de eternă şi de divină ca o curbă matematică.

3.Un joc cu mingea

Pentru abordarea problemelor puse în primele două capitole, trebuie să ştim mai multe despre definirea mişcării. Nimic nu pare mai simplu: mişcarea este schimbarea poziţiei în decursul timpului. Dar ce este poziţia, şi ce este timpul?

Există două răspunsuri date de fizicieni la problema aparent inofensivă de a defini poziţia. Primul este ideea de bun-simţ că poziţia unui obiect se defineşte în raport cu un anumit reper; al doilea este că poziţia în spaţiu are un caracter absolut, mai presus de relaţia cu altceva. Aceste noţiuni poartă numele de spaţiu relaţional şi, respectiv, absolut.

Noţiunea relaţională de poziţie ne este familiară tuturor. Mă aflu acum la un metru de scaun. Avionul se apropie de aeroport dinspre vest şi se află la doi kilometri de capătul pistei 1, la o înălţime de 300 de

metri. Acestea sunt descrieri ale poziţiei relative.

Dar poziţia relaţională pare să omită ceva. Unde este reperul ultim? Indicăm

coordonatele noastre pe Pământ, dar unde este Pământul? La atâţia kilometri de Soare, în direcţia constelaţiei Aquarius. Dar unde este Soarele? La atâtia mii de ani-lumină de centrul galaxiei Calea Lactee. Şi aşa mai departe.

Procedând în felul acesta putem indica poziţia oricărui lucru din univers în raport cu oricare altul. Acestea sunt o mulţime de informaţii, dar oare sunt de ajuns? Nu există o noţiune absolută de poziţie – unde este ceva *cu adevărat,* dincolo de toate aceste poziţii relative?

Dezbaterea între conceptele de spaţiu relaţional şi absolut se întinde pe toată istoria fizicii. în linii mari, fizica lui Newton a fost un triumf al imaginii absolute, răsturnată de teoria relativităţii a

lui Einstein, care a stabilit perspectiva relaţională. Eu cred că perspectiva relaţională este cea corectă, şi sper să-l conving pe cititor. Dar aş vrea de asemenea să-i ofer cititorului o imagine vie a motivului pentru care savanţi precum Newton au adoptat perspectiva absolută, şi la ce se renunţă atunci când o respingem în favoarea perspectivei relaţionale.

Pentru a înţelege cum s-a gândit Newton la problemă, trebuie să avem în vedere nu doar poziţia, ci şi mişcarea. Să lăsăm deocamdată la o parte timpul şi să aplicăm ceea ce tocmai am discutat. Dacă poziţia este relativă, atunci mişcarea e schimbarea poziţiei relative – altfel spus, schimbarea poziţiei în raport cu un corp de referinţă.

Toate discuţiile obişnuite despre mişcare se referă la mişcarea relativă. Galilei a studiat corpurile care cad în raport cu suprafaţa Pământului. Arunc o minge şi văd că se îndepărtează de mine. Pământul se mişcă în jurul Soarelui. Toate acestea sunt exemple de

mişcare relativă.

O consecinţă a mişcării relative este că cine sau ce se mişcă este întotdeauna o chestiune de perspectivă. Pământul şi Soarele se mişcă unul în jurul celuilalt, dar care din ele se mişcă într-adevăr? Este adevărată povestea că Soarele se roteşte în jurul unui Pământ fixat în centrul universului? Sau Soarele este fix, iar Pământul se roteşte în jurul lui? Dacă mişcarea este doar relativă, atunci nu poate exista un răspuns corect la aceste întrebări.

Faptul că nimic nu poate fi în mişcare sau repaus absolut face ca explicarea cauzelor mişcării să fie dificilă. Cum ar putea ceva să fie cauza mişcării Pământului în jurul Soarelui dacă există un punct de vedere diferit şi la fel de valabil potrivit căruia
Pământul e nemişcat? Dacă mişcarea este relativă, un observator e liber să adopte punctul de vedere că toate mişcările se definesc în raport cu el. Pentru a rezolva impasul şi a putea vorbi despre cauzele mişcării, Newton a

propus ideea că trebuie să existe o semnificaţie absolută a poziţiei. Aceasta a fost, pentru el, poziţia în raport cu ceea ce el a numit „spaţiu absolut”. Corpurile se mişcă sau nu, într-un sens absolut, în raport cu acest spaţiu absolut. Newton a argumentat că Pământul, nu Soarele, se mişcă în mod absolut.

Postularea spaţiului absolut opreşte regresia infinită şi dă sens poziţiei fiecărui lucru din univers, fără a fi nevoie de raportarea la nimic altceva. Aceasta poate fi o noţiune confortabilă, dar există o problemă. Unde e spaţiul acesta absolut, şi cum poţi măsura poziţia unui corp în raport cu el?

Nimeni nu a văzut sau detectat vreodată spaţiul absolut. Nimeni nu a măsurat vreodată o poziţie care să nu fie relativă. De aceea, în măsura în care ecuaţiile fizicii se referă la poziţia în spaţiul absolut, ele nu pot fi puse în legătură cu experimentul.

Newton ştia lucrul acesta şi nu l-a deranjat. El a fost un gânditor profund religios, iar spaţiul absolut avea pentru el o semnificaţie

teologică. Dumnezeu vedea lumea în termenii spaţiului absolut, iar asta a fost suficient pentru Newton. El s-a exprimat într-un mod şi mai categoric: spaţiul este una dintre percepţiile lui Dumnezeu. Lucrurile există în spaţiu fiindcă ele există în mintea lui Dumnezeu.

Nu-i atât de straniu pe cât pare, dacă eşti un maestru hermeneut, aşa cum a fost Newton. El a consacrat ani de muncă pentru a căuta semnificaţii ascunse în Scripturi, iar ca alchimist a căutat codul ascuns pentru virtute şi poate pentru nemurire. Ca fizician, a descoperit legi universale care guvernează toate mişcările din univers, dar anterior fuseseră ascunse. Era în firea lui să creadă că esenţa spaţiului este ascunsă simţurilor noastre, dar e percepută de Dumnezeu.

În plus, el avea un argument fizic pentru spaţiul absolut. Chiar dacă poziţia în spaţiul absolut nu poate fi omeneşte percepută, unele tipuri de mişcare în raport cu acesta pot fi.

Copiii nu pot zbura, dar se pot

învârti. Şi se-nvârt. Nimic nu se compară cu bucuria de pe faţa unui copil care tocmai a descoperit că se poate ameţi. Oricând vrea, iar şi iar. încă odată! Newton n-a avut copii, dar îmi place să mi-l imaginez redus la tăcere de bucuria micii sale nepoate, Catherine, care se-nvârtea prin biroul său. Newton ia copila care se clatină şi râde, o aşază pe genunchii săi şi îi spune că ameţeala ei este o percepţie directă a spaţiului absolut. Iar spaţiul absolut este Dumnezeu. „Ceea ce simţi atunci când eşti ameţită este mâna lui Dumnezeu asupra ta”, propune el. Fetiţa chicoteşte şi se vânzoleşte când el începe să-i explice că e ameţită nu fiindcă se roteşte în raport cu mobila, sau cu casa, sau cu pisica, ci fiindcă se învârte în raport cu spaţiul însuşi. Iar dacă spaţiul poate s-o ameţească, trebuie să fie ceva real. „De ce?” spune ea, sărindu-i din poală ca să fugărească pisica afară din cameră. Să-l lăsăm pe Newton acolo, cugetând asupra gravitaţiei şi a faptului că suntem muritori, şi să

revenim la întrebarea cum se defineşte mişcarea.

Când spunem că ceva se mişcă, înţelegem că-şi schimbă poziţia în timp. Este o chestiune de bun-simţ, dar pentru a fi precişi trebuie să fim siguri că ştim ce înţelegem prin timp. Ne confruntăm aici cu aceeaşi dilemă relational-absolut.

Oamenii percep timpul ca schimbare. Timpul când are loc un eveniment se măsoară în raport cu alte evenimente – de exemplu indicaţia cadranului unui ceas.

Toate indicaţiile ceasurilor şi calendarelor sunt timpi relativi, aşa cum adresele sunt poziţii relative. Dar Newton a crezut că în spatele schimbării se ascunde un timp absolut, pe care îl percepe Dumnezeu.

Iată o mostră din dezbaterea aprigă pe tema timpului absolut care nu a încetat de atunci încoace. Gottfried Leibniz, rivalul lui Newton, credea şi el în Dumnezeu, dar Dumnezeul lui nu era liber, precum cel al lui Newton, să acţioneze după bunul său plac.

Leibniz venera un Dumnezeu raţional în cel mai înalt grad. Dar dacă Dumnezeu este perfect raţional, atunci totul în natură trebuie să aibă o raţiune. Acesta e principiul raţiunii suficiente al lui Leibniz. Un mod de a-l enunţa este că fiecare întrebare de forma „De ce universul este aşa, şi nu altminteri?” trebuie să aibă un răspuns raţional. Există, firește, întrebări cărora nu li se poate da un răspuns raţional. în opinia lui Leibniz, a pune o întrebare ce nu admite un răspuns justificat raţional înseamnă a comite o eroare de gândire.

Leibniz şi-a ilustrat principiul astfel: la întrebarea „De ce universul a început atunci când a început şi nu zece minute mai târziu?”, el a răspuns că nu există nici un motiv raţional pentru a prefera istoria aceasta a universului uneia în care totul se petrece zece minute mai târziu. Toţi timpii relativi vor fi aceiaşi în ambele universuri; numai timpii absoluţi diferă. Dar legile naturii vorbesc

numai despre timpi relativi. în consecinţă, a argumentat Leibniz, dacă nu există nici un motiv pentru a prefera ca universul să înceapă la un moment de timp absolut mai degrabă decât la altul înseamnă că timpul absolut nu are nici o semnificaţie.

Eu accept raţionamentul lui Leibniz, de aceea ori de câte ori mă voi referi la timp, voi înţelege un timp relativ. într-adevăr, deşi se poate discuta despre un posibil sens transcendent în care timpul absolut există, un lucru sigur este că noi, oamenii, trăind în lumea reală, avem acces numai la timpi relativi. De aceea pentru a descrie mişcările vom considera că timpul e măsurat de ceasuri. Pentru scopurile noastre, un ceas este orice dispozitiv care afişează un şir crescător de numere.

Acum că am definit atât timpul, cât şi poziţia, putem merge mai departe să măsurăm mişcarea: mişcarea este schimbarea poziţiei, măsurată în raport cu un anumit obiect de referinţă, într-o perioadă

de timp, măsurată în raport cu indicaţia unui ceas.

Aceasta ne duce la următorul pas crucial în argumentaţia noastră. Pentru a face ştiinţă nu e suficient să formulăm definiţii şi să argumentăm în privinţa conceptelor. Trebuie să măsurăm mişcări. Aceasta presupune folosirea unor instrumente precum ceasuri şi rigle pentru a asocia numere poziţiilor şi timpilor.

Spre deosebire de poziţia absolută, care este invizibilă, distanţele relative şi timpii relativi pot fi măsuraţi prin numere, care la rândul lor pot fi înregistrate pe o foaie de hârtie sau într-o memorie digitală. în felul acesta, observaţiile asupra mişcării sunt transformate în tabele de numere ce pot fi studiate cu metode din matematică. O asemenea metodă este să trasăm un grafic al înregistrărilor, convertind tabelele numerice în imagini capabile să ne stimuleze înţelegerea şi imaginaţia.

Acest instrument puternic a fost dezvoltat de René Descartes şi este

predat acum fiecărui elev. Fără îndoială Kepler a făcut asta în timp ce se lupta cu datele lui Tycho despre orbita lui Marte. în figura 4 vedem un grafic al orbitei Lunii în raport cu Pământul.

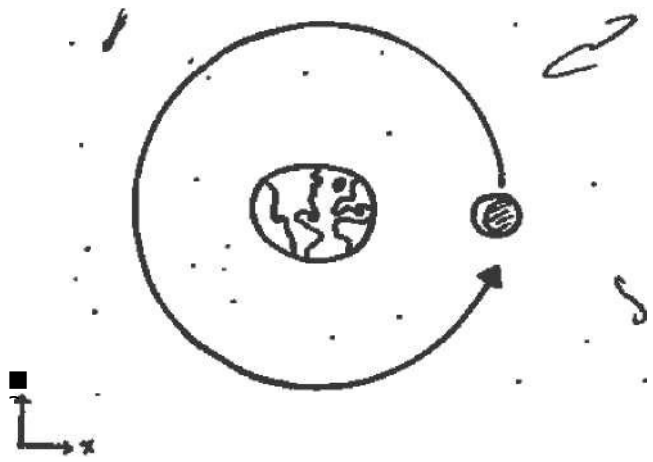


Fig. 4. Grafic al orbitei
Lunii în jurul Pământului.

în şcoală am învăţat încă o metodă de a descrie o mişcare, care constă în a adăuga o axă pentru timp şi a reprezenta grafic poziţia în funcţie de timp. Aceasta reprezintă orbita sub forma unei curbe în spaţiu şi timp, ca în figura 5. Vedem acum orbita Lunii reprezentată printr-o spirală; când ea revine în poziţia iniţială, a trecut o lună.

De remarcat că prin reprezentarea grafică a observaţiilor, s-a înfăptuit ceva minunat. Curba din figura 5 reprezintă măsurătorile efectuate pe când ceva a evoluat în timp, dar măsurătorile sunt ele însele atemporale – altfel spus, odată efectuate, ele nu se mai schimbă. Iar curba care le reprezintă e de asemenea atemporală. Prin metoda

aceasta am făcut din mişcare – adică schimbarea în lume – un subiect de studiu pentru matematică, care e studiul unor obiecte ce nu se schimbă.

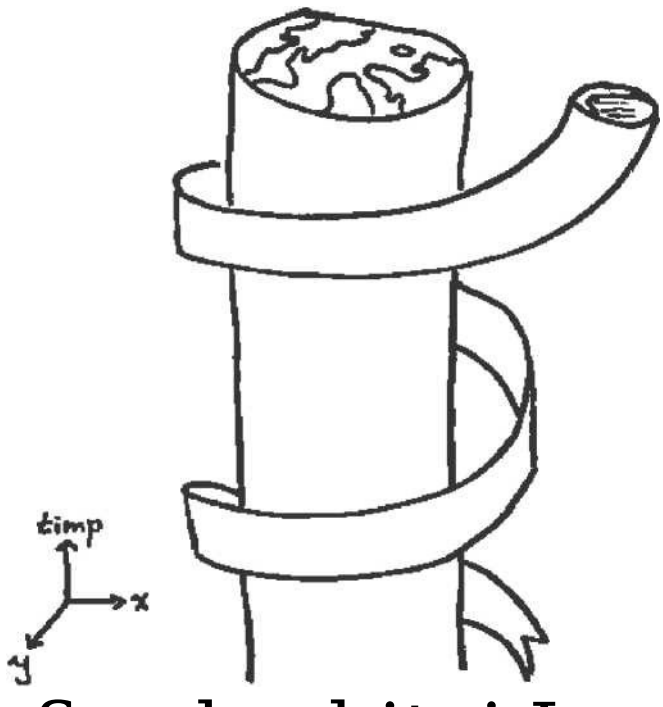


Fig. 5. Grafic al orbitei Lunii în jurul Pământului.

Capacitatea de a încremeni timpul în felul acesta a fost de mare ajutor în ştiinţă, fiindcă nu trebuie să urmărim mişcarea decurgând în timp real; putem studia înregistrarea mişcărilor trecute ori de câte ori vrem. Dar dincolo de utilitatea ei, invenţia aceasta are consecinţe filozofice profunde, deoarece susţine argumentul că timpul este o iluzie. Metoda încremenirii timpului a funcţionat atât de bine, încât majoritatea fizicienilor nu- şi dau seama că s-a

jucat o festă modului cum înţeleg ei natura. Festa aceasta a fost un pas mare în eliminarea timpului din descrierea naturii, întrucât ne invită să ne punem întrebări asupra corelaţiei dintre real şi matematic, dintre temporal şi atemporal.

Corelaţia aceasta e atât de importantă, încât vreau s-o ilustrez printr-un exemplu din viata de zi cu zi. Toate aceste subiecte serioase nu conţin nimic care să nu poată fi înţeles dintr-un joc cu mingea.

*

în jurul orei 1:15 p.m. pe data de 4 octombrie 2010, în partea de est a High Park din Toronto, un romancier pe nume Danny a aruncat o minge de tenis, pe care o găsise în dimineaţa aceea în sertarul cu şosete, unei poete pe care tocmai o întâlnise, Janet.

Pentru a studia aruncarea lui Danny din perspectiva fizicii, procedăm la fel ca Tycho şi Kepler în privinţa planetei Marte. Observăm mişcarea şi notăm poziţiile mingii la o serie de

momente de timp, după care reprezentăm grafic rezultatele. în acest scop, trebuie să precizăm poziţia mingii în raport cu un anumit obiect, care poate fi Danny însuşi. Mai avem nevoie şi de un ceas.

Mingea se mişcă repede, iar aceasta a fost o dificultate pentru Galilei, dar noi putem filma aruncarea lui Danny şi măsura poziţia mingii în fiecare cadru, împreună cu timpul cadrului. Din poziţia mingii într-un cadru obţinem două numere, înălţimea mingii faţă de sol şi distanţa faţă de Danny. (Spaţiul este, desigur, tridimensional, de aceea trebuie să precizăm direcţia aruncării lui Danny. Voi ignora aici această complicaţie, spunând doar că mingea e aruncată spre sud.) Dacă includem timpul fiecărui cadru, înregistrarea traiectoriei mingii constă dintr-o serie de triplete de numere, un triplet pentru fiecare cadru al filmului:

(timpul 1, înălţimea 1, distanţa 1)
(timpul 2, înălţimea 2, distanţa 2)
(timpul 3, înălţimea 3, distanţa 3)

Şi aşa mai departe.

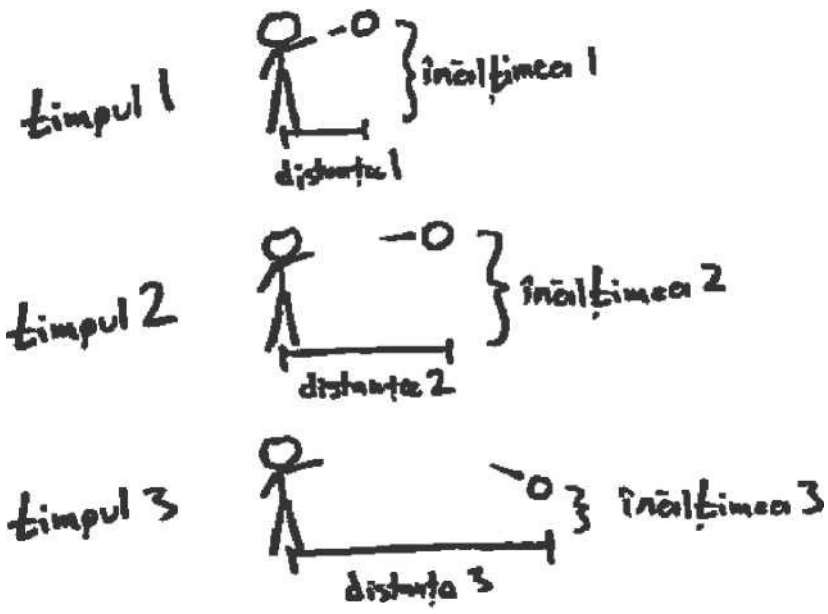


Fig. 6. Măsurarea aruncării lui Danny.

Aceste liste de numere sunt instrumente importante pentru un studiu ştiinţific al mişcării. Dar ele nu sunt mişcarea însăşi. Sunt doar nişte numere a căror semnificaţie e dată de măsurătorile pe care le efectuăm

asupra unei mingi în zbor într-o anumită împrejurare. Fenomenul real diferă în mai multe moduri de lista de numere care e înregistrarea lui. De exemplu, multe trăsături ale mingii au fost neglijate. I-am înregistrat numai poziţiile, dar mingea are de asemenea culoare, greutate, formă, mărime şi compoziţie. Mai important, fenomenul a decurs în timp: el s-a petrecut o singură dată, după care a dispărut în trecut. Ce a rămas este înregistrarea, iar aceasta e încremenită, imuabilă.

Următorul pas este să reprezentăm grafic informaţia din înregistrare. Figura 7 este o imagine a traiectoriei mingii în spaţiu. Vedem că mingea în zbor a descris o parabolă, exact cum a prezis Gabiei.

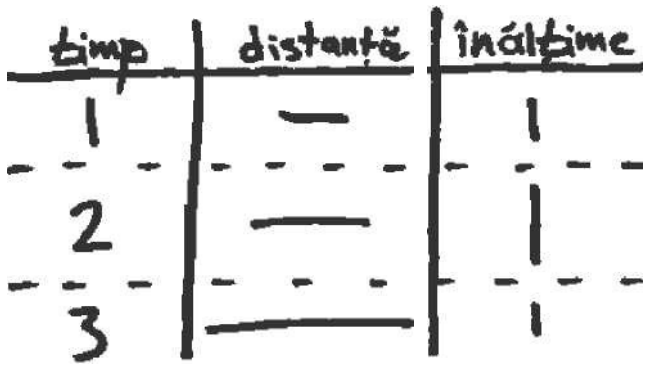


Fig. 7. Aruncarea lui Danny, înregistrată şi reprezentată

Vedem din nou că procesul înregistrării unei *mişcări,* care are loc în timp, produce o *înregistrare,* care este încremenită în timp – o înregistrare ce poate fi reprezentată de o curbă într-un grafic, de asemenea încremenit în timp.

Unii filozofi şi fizicieni văd în asta o înţelegere profundă a naturii

realităţii. Alţii susţin contrariul — că matematica este doar un instrument a cărui utilitate nu pretinde să considerăm că lumea este matematică în esenţa ei. Putem numi vocile acestea rivale *misticul* şi *pragmaticul.*

Pragmaticul va susţine că nu e nimic greşit în a verifica ipotezele despre legile de mişcare convertind mişcarea în numere aranjate în tabele şi căutând tipare în acele tabele. Dar el va insista că reprezentarea matematică a unei mişcări printr-o curbă nu implică în nici un fel identitatea între mişcare şi reprezentarea ei. însuşi faptul că mişcarea are loc în timp, pe când reprezentarea matematică este atemporală, înseamnă că ele nu sunt acelaşi lucru.

Unii fizicieni după Newton au adoptat perspectiva misticului potrivit căreia curba matematică este „mai reală” decât mişcarea însăşi. Marea atracţie a conceptului de realitate matematică mai profundă este atemporalitatea sa, în

contrast cu succesiunea trecătoare a experienţelor. Cedând tentaţiei de a combina reprezentarea cu realitatea şi a identifica graficul înregistrărilor mişcării cu mişcarea însăşi, aceşti oameni de ştiinţă au făcut un pas mare în direcţia eliminării timpului din perspectiva noastră asupra naturii.

Confuzia se agravează atunci când reprezentăm timpul ca o axă pe un grafic, aşa cum am făcut în figura 5. în figura 8, informaţia despre traiectoria mingii lui Danny include indicaţiile unui ceas, prezentate ca şi cum ar fi măsurători făcute cu o riglă. Asta se poate numi spaţializarea timpului.

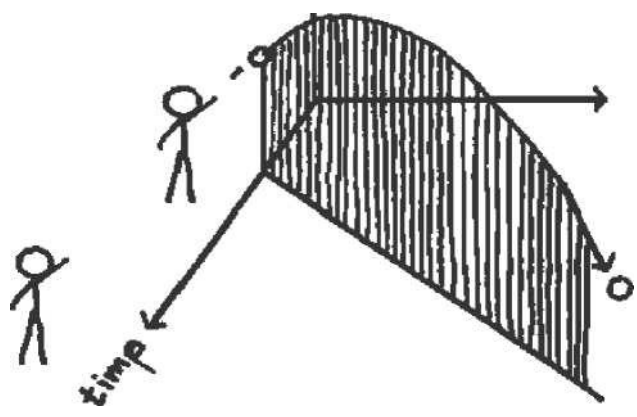


Fig. 8. Aruncarea lui Danny reprezentată grafic ca o curbă în spaţiu şi timp.

Iar asocierea matematică a reprezentărilor spaţiului şi timpului, fiecare având propria sa axă, poate fi numită *spaţiu-timp.* Pragmaticul va insista că spaţiul-timp nu e lumea reală. Este în întregime o invenţie umană, doar o altă reprezentare a înregistrării procesului în care Danny îi aruncă mingea lui Janet. Confundând spaţiul-timp cu realitatea, comitem o eroare, ce poate fi numită eroarea spaţializării timpului. Este o consecinţă a neglijării distincţiei dintre înregistrarea mişcării în timp şi timpul însuşi.

Odată ce-ai comis eroarea aceasta, eşti liber să fabulezi că universul este atemporal, sau chiar că nu e decât matematică. Dar, spune pragmaticul, atemporalitatea şi matematica sunt proprietăţi ale înregistrărilor mişcării – nimic mai mult. Ele nu sunt, şi nu pot fi, proprietăţi ale mişcărilor reale. Într-adevăr, e absurd să spui că mişcarea este „atemporală”, fiindcă mişcarea nu este *nimic altceva* decât o expresie a timpului.

Există un motiv simplu pentru care nici un obiect matematic nu va oferi vreodată o reprezentare completă a istoriei universului, acela că universul are o proprietate pe care nici o reprezentare matematică a sa n-o poate avea. Aici, în lumea reală, este întotdeauna un anumit moment de timp, un moment prezent. Nici un obiect matematic nu poate avea această particularitate, fiindcă, odată construite, obiectele matematice sunt atemporale.[1]

Cine are dreptate, pragmaticul sau misticul? Aceasta e întrebarea de care depinde viitorul fizicii şi al cosmologiei.

4. A face fizică într-o cutie

în liceu, am fost distribuit în piesa lui Jean- Paul Sartre *Cu uşile închise.* Am jucat rolul lui Joseph Garcin, un bărbat încuiat într-o încăpere mică împreună cu două femei, toţi trei decedaţi. Piesa este o versiune extremă a unei societăţi închise; ea i-a permis dramaturgului să examineze consecinţele opţiunilor noastre morale. în scena culminantă eu trebuia să trântesc uşa clasei, strigând faimoasa replică „Infernul sunt ceilalţi!”, dar geamul de la uşă s-a spart, acoperindu-mă cu cioburi şi punând capăt carierei mele actoriceşti.

Spectacolul muzical, la fel ca teatrul, permite o examinare intensificată a emoţiei umane, izolându-ne într-un mediu controlat. Ca adolescent, am asistat la o reprezentaţie terifiantă a formaţiei vărului meu, Suicide, în subsolul de la Mercer Arts Center, în

Greenwich Village-. Solistul vocal a încuiat uşile şi a hipnotizat audienţa cu o arie lungă şi ucigătoare, cântată pe acordurile repetate obsesiv ale piesei clasice de garage-rock „96 de lacrimi”. Atmosfera a devenit claustrofobă pe măsură ce cântăreţul devenea tot mai ameninţător, dar la fel ca personajele din piesa lui Sartre, eram blocaţi. Mai recent, metoda cunoaşterii-prin-claustrofobie a fost adoptată de artişti conceptuali care închid perechi neverosimile – precum un artist şi un om de ştiinţă – într-o încăpere timp de 24 de ore şi filmează tot ce se întâmplă.[1]

Atât la teatru cât şi în concert, izolarea e falsă. Cu suficient efort, oricine ar putea ieşi oricând. Nu o facem, fiindcă avem mult de învăţat supunându-ne rigorilor unui mediu social redus. Mai puţin real este, în acest sens, mai real. Arta caută universalul prin examinarea în amănunt a particularului[2], ceea ce pentru a reuşi necesită adesea un cadru restrâns în mod artificial.

La fel este şi în fizică. Majoritatea

cunoştinţelor noastre despre natură provin din experimente în care delimităm şi izolăm în mod artificial un fenomen din vârtejul continuu al universului. Căutăm să înţelegem aspectele universale ale fizicii restrângându- ne atenţia la fenomenele cele mai simple. Metoda de a restrânge atenţia la o mică parte a universului a făcut posibil succesul fizicii încă de pe vremea lui Galilei. Eu o numesc *a face fizică într-o cutie.* Metoda aceasta are mari avantaje, dar şi câteva neajunsuri, iar ambele sunt esenţiale pentru povestea noastră despre eliminarea timpului din fizică şi renaşterea lui.

Trăim într-un univers în continuă schimbare, plin cu materie în continuă mişcare. Ce au învăţat să facă Descartes, Galilei, Kepler şi Newton a fost să izoleze mici fragmente de lume, să le examineze şi să înregistreze schimbările produse în ele. Ei ne-au arătat cum să prezentăm mişcările acestea sub forma unor grafice simple ale căror axe reprezintă poziţiile şi timpii

într-un mod încremenit, şi ca atare apt a fi studiat pe îndelete.

Să observăm că pentru a aplica matematica unui sistem fizic, mai întâi trebuie să-l izolăm şi, mental, să-l separăm din complexitatea mişcărilor care constituie universul real. Nu am ajunge prea departe cu studiul mişcării dacă ne-ar preocupa felul cum orice lucru din univers le afectează pe toate celelalte. Pionierii fizicii, de la Galilei la Einstein şi până în ziua de azi, au progresat fiindcă au putut să izoleze un subsistem simplu, precum un joc cu mingea, şi să studieze mişcarea mingii. În realitate însă, o minge în zbor e influenţată în nenumărate moduri de lucruri din afara subsistemului pe care l-am definit.

Descrierea simplă a unui joc cu mingea ca un sistem izolat e o aproximare grosieră a lumii reale – deşi s-a dovedit rodnică în descoperirea unor principii fundamentale ce par să guverneze toate mişcările din universul nostru.[3]

Tipul acesta de aproximaţie, în care ne restrângem atenţia la câteva variabile sau la câteva obiecte sau particule, este caracteristic modului de a face fizică într-o cutie. Pasul esenţial e selectarea, din întregul univers, a subsistemului pe care să-l studiem. Aspectul esenţial este că aceasta reprezintă întotdeauna o aproximaţie a unei realităţi mai bogate.

Este uşor să generalizăm tratarea jocului cu mingea la un mare număr de sisteme pe care le studiem în fizică. Pentru a studia un sistem, trebuie să definim ce conţine şi ce excludem din el. Tratăm sistemul ca şi cum ar fi izolat de restul universului, iar izolarea aceasta este ea însăşi o aproximare drastică. Nu putem scoate sistemul din univers, de aceea în orice experiment putem doar reduce, dar niciodată elimina complet influenţele exterioare asupra sistemului. în multe cazuri putem realiza asta cu suficientă precizie pentru a face din idealizarea unui

sistem izolat un construct intelectual util.

O parte a definiţiei unui subsistem este o listă cu toate variabilele pe care trebuie să le măsurăm pentru a determina tot ce vrem să ştim despre el la un moment dat. Lista acestor variabile formează o abstracţiune pe care o numim *configuraţia sistemului.* Pentru a reprezenta mulţimea tuturor configuraţiilor posibile, definim un spaţiu abstract numit spaţiul configuraţiilor. Fiecare punct din spaţiul configuraţiilor reprezintă o configuraţie posibilă a sistemului.

Procesul prin care este definit spaţiul configuraţiilor începe cu extragerea subsistemului din universul mai mare. Prin urmare, spaţiul configuraţiilor este întotdeauna o aproximaţie a unei descrieri mai profunde şi mai complete. Atât configuraţia, cât şi reprezentarea ei într-un spaţiu al configuraţiilor sunt abstracţiuni – invenţii umane utile pentru metoda de a face fizică într-o cutie.

Pentru a descrie un joc de biliard, putem opta să înregistrăm poziţiile celor şaisprezece bile într-un tabel bidimensional. Este nevoie de două numere pentru a localiza o singură bilă de pe masă (poziţia sa în raport cu lungimea şi cu lăţimea mesei), deci configuraţia completă va necesita o listă cu 32 de numere. Spaţiul configuraţiilor are câte o dimensiune pentru fiecare număr care trebuie măsurat, deci în cazul jocului de biliard este un spaţiu cu 32 de dimensiuni.

Dar o bilă de biliard reală este un sistem enorm de complicat, prin urmare reprezentarea sa ca un singur obiect cu o singură poziţie este o aproximaţie extremă. Dacă vrem o descriere mai precisă a jocului de biliard, trebuie să înregistrăm nu doar poziţiile bilelor, ci ale fiecărui atom din fiecare bilă. Aceasta necesită cel puţin IO^{24} numere, deci un spaţiu al configuraţiilor cu tot atâtea dimensiuni. Dar de ce să ne oprim aici? Dacă vrem o descriere la nivelul atomilor, trebuie să

includem poziţiile tuturor atomilor mesei, ale tuturor atomilor din aer care ciocnesc bilele, ale tuturor fotonilor care luminează încăperea – iar apoi, de ce nu, ale tuturor atomilor din Pământ, Soare şi Lună care atrag gravitaţional bilele. Tot ce este mai puţin decât o descriere cosmologică va fi o aproximaţie.

Altceva omis din subsistem este un ceas, pe care îl folosim pentru a preciza momentul în care se face o observaţie. Ceasul nu e considerat o parte a subsistemului, fiindcă se presupune că marchează timpul în mod uniform, indiferent ce se întâmplă în subsistem. Ceasul oferă un standard în raport cu care se înregistrează mişcarea subsistemului.

Folosirea unui ceas exterior violează conceptul de timp relaţional. Schimbarea în sistem este măsurată prin referire la ceasul exterior, pe care nimic din ce se petrece în sistem nu-l poate influenţa. Este convenabil, dar e permis numai fiindcă facem o aproximaţie grosieră, în care

neglijăm toate interacţiunile între sistem şi tot ce se află în afara lui, inclusiv ceasul.

Dacă luăm prea în serios această metodă, am putea fi tentaţi să ne imaginăm un ceas exterior întregului univers, cu care putem măsura schimbarea în univers. Ajungem astfel la o gravă greşeală conceptuală, aceea de a crede că întregul univers evoluează în raport cu o noţiune de timp absolut din afara lui. Newton a comis greşeala asta fiindcă era prizonierul fanteziei că fizica pe care a inventat-o captează viziunea lui Dumnezeu asupra întregului univers. Greşeala a persistat până când Einstein a corectat-o – găsind în cadrul teoriei relativităţii o modalitate de a plasa ceasul în interiorul universului –, iar noi nu trebuie s-o repetăm.

Totuşi, atât timp cât nu o luăm prea în serios, imaginea unui mic subsistem al universului a cărui evoluţie în timp e măsurată de indicaţiile unui ceas exterior este o aproximaţie utilă. La fiecare măsurătoare, obţinem o listă de

numere caracterizând configuraţia în acel moment, şi care apoi defineşte un punct în spaţiul configuraţiilor. Presupunând că măsurătorile timpului se succedă cu repeziciune, putem reprezenta în mod ideal această mulţime de puncte ca o curbă în spaţiul configuraţiilor (vezi figura 9). Ea reprezintă o istorie a subsistemului, aşa cum este captată de un şir de măsurători ale configuraţiilor sale.

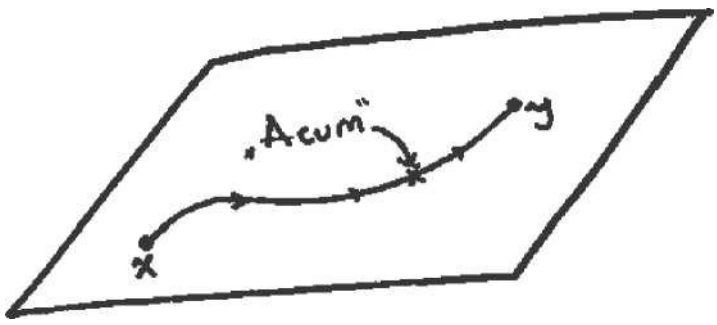


Fig. 9. Spaţiul configuraţiilor şi o istorie în el. X marchează un moment de timp.

La fel ca în cazul mingii lui Danny în jocul său cu Janet, timpul a dispărut din imagine. Ce a rămas este o traiectorie prin spaţiul configuraţiilor posibile. Traiectoria aceasta este o curbă care rezumă informaţia

>

dintr-un set de înregistrări a ceva

ce s-a întâmplat în trecut. Când am terminat, avem o reprezentare a mişcării subsistemului – mişcare care s-a desfăşurat în timp, o singură dată — printr-un obiect matematic atemporal, care este o curbă în spaţiul configuraţiilor posibile ale subsistemului.

Spaţiul configuraţiilor este atemporal; se presupune că el există pur şi simplu, veşnic. Când îl numesc „spaţiul configuraţiilor posibile”, înţeleg că dacă aş vrea, aş putea pune subsistemul în oricare dintre acele configuraţii în orice moment. Istoria sistemului e reprezentată atunci printr-o curbă care începe în acea configuraţie iniţială. Curba respectivă, odată trasată, este atemporală. Aceasta ne readuce la întrebarea- cheie: dispariţia timpului din reprezentare e o înţelegere profundă a naturii realităţii, sau doar o consecinţă înşelătoare şi neintenţionată a unei metode pentru descrierea aproximativă a unor mici părţi din univers?

*

Newton a făcut mai mult decât să inventeze o metodă pentru a descrie mişcarea, el a inventat o metodă pentru a o prezice. Galilei a descoperit că în cazul unei mingi aruncate curba este o parabolă. Newton ne-a oferit o metodă pentru a determina care va fi curba într-o diversitate enormă de cazuri. Acesta e conţinutul celor trei legi newtoniene ale mişcării. Ele pot fi rezumate după cum urmează:

Pentru a prezice cum se va deplasa o minge, sunt necesare trei informaţii:

-Poziţia iniţială a mingii;

-viteza iniţială a mingii (altfel spus, cât de repede şi în ce direcţie se mişcă);

-forţele care vor influenţa mingea în timp ce se mişcă.

Odată precizate aceste trei date de intrare, legile de mişcare ale lui Newton pot fi folosite pentru a prezice viitoarea traiectorie a mingii. Putem programa un calculator să facă lucrul acesta pentru noi. Introduceţi cele trei

date de intrare, iar el va furniza traiectoria mingii. Asta înţelegem atunci când vorbim despre o „soluţie” a legilor lui Newton. O soluţie este o curbă în spaţiul configuraţiilor. Ea reprezintă o istorie a sistemului, începând din momentul în care sistemul este preparat sau observat pentru prima oară. Acel prim moment se numeşte condiţia iniţială. Descriem condiţia iniţială

atunci când specificăm poziţia şi viteza iniţiale. După care legile intră în acţiune şi determină restul istoriei.

O lege are un număr infinit de soluţii, fiecare dintre ele descriind o istorie posibilă a sistemului în care legile sunt satisfăcute. Specificăm care istorie descrie un anumit experiment atunci când precizăm condiţiile iniţiale. Aşadar, pentru a prezice viitorul sau a explica ceva, nu este suficientă cunoaşterea legilor; trebuie de asemenea cunoscute condiţiile iniţiale. în experimentele de laborator e uşor,

fiindcă experimentatorul pregăteşte sistemul pentru a porni cu o anumită condiţie iniţială. Legea lui Galilei a căderii corpurilor spune că mingea aruncată de Danny va trasa o parabolă. Dar care parabolă? Răspunsul e determinat de cât de repede, sub ce unghi şi din ce loc a aruncat el mingea – adică de condiţiile iniţiale.

Se dovedeşte că metoda aceasta e generală. Ea poate fi aplicată oricărui sistem descriptibil cu ajutorul unui spaţiu al configuraţiilor. Odată ce sistemul e specificat, sunt necesare aceleaşi trei date de intrare:

- *Configuraţia iniţială a sistemului.* Aceasta precizează un punct în spaţiul configuraţiilor.
- *Direcţia şi viteza iniţiale ale schimbărilor sistemului.*
- Forţele care vor acţiona asupra sistemului pe durata schimbării sale în timp.

Legile lui Newton prezic atunci curba exactă pe care o va descrie sistemul în spaţiul configuraţiilor.

Generalitatea şi puterea metodei lui Newton nu pot fi subestimate. Ea a fost aplicată la stele, planete, sateliţi ai planetelor, galaxii, roiuri de stele, roiuri de galaxii, materie întunecată, atomi, electroni, fotoni, gaze, solide, lichide, poduri, zgârie-nori, maşini, avioane, sateliţi artificiali, rachete. A fost aplicată în mod util unor sisteme formate din unul, două sau trei corpuri şi unor sisteme având IO^{23} sau IO^{60} particule. A fost aplicată câmpurilor – cum e câmpul electromagnetic — a căror definire necesită măsurarea unui număr infinit de variabile (câmpurile electric şi magnetic în fiecare punct din spaţiu, de exemplu). Ea a descris un număr enorm de forte sau interacţiuni posibile între variabilele care definesc sistemul.

Metoda de bază poate fi de asemenea aplicată în informatică, unde se numeşte studiul automatelor celulare. Şi doar cu o mică modificare, este baza pentru mecanica cuantică.

Datorită puterii sale, metoda

aceasta poate fi considerată o paradigmă. O vom numi după inventatorul ei: *paradigma newtoniană.* Este un mod mai formal de a vorbi despre metoda fizicii într-o cutie.

în esenţă, paradigma newtoniană e construită din răspunsurile la două întrebări fundamentale:

- Care sunt configuraţiile posibile ale sistemului?
- Ce forţe acţionează asupra sistemului în fiecare configuraţie?

Configuraţiile posibile se mai numesc şi *condiţiile iniţiale,* fiindcă le specificăm de la bun început. Regulile prin care sunt descrise forţele şi efectele lor se numesc *legi de mişcare.* Aceste legi sunt reprezentate de ecuaţii. Dacă se introduc condiţiile iniţiale în ecuaţii, ecuaţiile furnizează evoluţia în viitor a sistemului. Aceasta se numeşte rezolvarea ecuaţiilor. Există un număr infinit de asemenea soluţii, pentru că există un număr infinit de condiţii iniţiale posibile.

Trebuie să fim conştienţi că această metodă puternică se bazează pe câteva ipoteze puternice. Prima afirmă că spaţiul configuraţiilor este atemporal. Se presupune că o anumită metodă poate furniza în avans -

adică înainte de a urmări evoluţia reală a J sistemului – întregul set de configuraţii posibile. Configuraţiile posibile nu evoluează, ele doar sunt. A doua presupunere este că forţele, şi deci legile cărora li se supune sistemul, sunt atemporale. Ele nu se modifică în timp, şi de asemenea se presupune că pot fi specificate anterior studiului efectiv al sistemului.

Lecţia aici este pe cât de simplă pe atât de înfricoşătoare. în măsura în care ipotezele aflate la baza paradigmei newtoniene sunt realizate în natură, timpul este neesenţial şi poate fi eliminat din descrierea lumii. Dacă spaţiul configuraţiilor posibile poate fi specificat într-un mod atemporal,

iar legile de asemenea, atunci istoria oricărui sistem nu trebuie percepută ca evoluând în timp. Pentru a răspunde oricărei întrebări pe care o poate pune fizica, e suficient să considerăm întreaga istorie a oricărui sistem ca o singură curbă încremenită în spaţiul configuraţiilor. Aspectul în aparenţă cel mai important al experienţei noastre legate de lume – faptul că ni se prezintă ca o succesiune de momente prezente – lipseşte din cea mai reuşită paradigmă a noastră pentru descrierea naturii.

Am început prin a urmări o minge de tenis, având scrisă pe ea cu cerneală roşie un număr de telefon, aruncată între doi scriitori pe nume Danny şi Janet, în după-amiaza zilei de 4 octombrie 2010, în High Park. înţelegerea noastră cea mai profundă a modului cum s-a mişcat mingea echivalează cu examinarea imaginii atemporale a unei curbe incolore într-un spaţiu abstract.

---

4. Zonă rezidenţială din Manhattan, New York. La începutul

secolului XX, şi mai ales odată cu mişcarea *beat* din anii 1950, a devenit locul de întâlnire al artiştilor, scriitorilor şi muzicienilor nonconformişti (n ,tr.).

5.Eliminarea noului şi a surprizei

Inventarea paradigmei newtoniene ca metodă generală pentru a face fizică într-o cutie a fost un pas esenţial în eliminarea timpului. O consecinţă a fost celebrul argument în favoarea determinismului formulat de Pierre- Simon Laplace, care a pretins că dacă i s-ar da poziţiile şi mişcările exacte ale tuturor atomilor din univers, împreună cu descrierea exactă a forţelor care acţionează asupra lor, ar putea prezice viitorul universului cu precizie absolută. Afirmaţia aceasta i-a convins de atunci pe mulţi că viitorul este complet determinat de prezent.

Dar una dintre supoziţiile importante ale acestui argument poate fi pusă la îndoială, aceea că metoda newtoniană poate fi extinsă asupra întregului univers, închizând

totul într-o cutie. Dar fizica în cutie începe prin a izola un mic subsistem al universului. Laplace poate oare să ignore nesancţionat pasul acesta?

Să revenim la jocul cu mingea din parc.

Acum e 14 august 2062, ora 3:15 după- amiaza. Laura, nepoata lui Danny şi Janet, urmează să arunce un disc de frisbee Francescăi, fiica lui Billy şi Roxanne, care şi ea a crescut în apropierea parcului. Tocmai când Laura aruncă discul, Francesca e distrasă de sclipirea unui mesaj venit pe telefonul microcelular implantat în retina sa. Va rata ea discul?

Dacă crezi că paradigma newtoniană se aplică exact lumii, atunci crezi că în 2010 era deja determinat cu cine se vor căsători Danny şi Janet (întâmplarea face că unul cu altul, dar pe atunci nici unul dintre ei nu ar fi ghicit), când va fi conceput fiul lor, cu cine se va căsători el, când va fi concepută fiica lui, şi dacă ea va avea sau nu o predilecţie pentru jocul de frisbee.

Trebuie să crezi că fiecare mişcare, gând, idee şi emoţie pe care le vor avea vreodată oamenii aceştia sunt deja determinate în prezent. Trebuie să crezi că lista tuturor oamenilor care vor trăi vreodată este deja alcătuită, chiar dacă e imposibil să-ţi imaginezi tehnologia pentru decodificarea ei.

Trebuie să crezi nu doar că este deja determinat – şi că, de fapt, a fost de miliarde de ani – că va fi un joc de frisbee între Laura şi Francesca în după-amiaza aceea, chiar dacă ele au crescut în părţi opuse ale parcului şi s-au întâlnit doar în urmă cu cinci minute.

Şi mai trebuie să crezi că acum nu se poate face nimic pentru a împiedica dezvoltarea telefoanelor microcelulare implantabile în retină, şi că nu se poate face nimic pentru a împiedica transmiterea acelui mesaj fatidic exact în momentul acela, aşa încât Francesca să fie distrasă. Va prinde ea totuşi discul de frisbee? înainte ca microtelefonul ei să sclipească, nimeni dintre privitori nu putea şti,

dar dacă viitorul este determinat, atunci există deja, în principiu, o anumită mărime măsurabilă acum care ne-ar putea spune.

Afirmaţia că legile fizicii, plus condiţiile iniţiale, determină viitorul în cele mai mici detalii este o afirmaţie uimitoare, fiindcă pe termen lung chiar şi cele mai neînsemnate amănunte contează. În fiecare concepere reuşită, unul dintre cei aproximativ 100 de milioane de spermatozoizi fertilizează ovulul. Aceasta s-a întâmplat de aproximativ 100 de miliarde de ori de când există oameni, şi de trilioane de ori înainte, în timpul evoluţiei strămoşilor noştri. Trilioane de alegeri a unuia din 100 de milioane înseamnă o cantitate enormă de informaţii, dar trebuie să credem că toate acestea, şi multe, multe altele, au fost scrise în condiţiile iniţiale ale universului la o dată cu mult anterioară. Iar acesta este doar un mic amănunt al vieţii de pe o mică planetă.

Aceasta este o parte a înţelesului

afirmaţiei că în paradigma newtoniană timpul dispare. Toate lucrurile care s-au întâmplat vreodată, care se întâmplă acum şi care se vor întâmpla vreodată sunt doar puncte pe o traiectorie în spaţiul configuraţiilor universului, o curbă care este deja determinată. Trecerea timpului nu aduce nici o noutate sau surpriză, fiindcă schimbarea nu e decât rearanjarea aceloraşi fapte.

Pentru ca noutatea şi surpriza să fie posibile, ceva trebuie să fie în neregulă cu paradigma newtoniană, sau cel puţin cu extinderea ei de la o metodă pentru studiul unor mici subsisteme ale universului la o descriere exactă a întregului univers. O limitare este că, dacă viitorul e determinat prin specificarea condiţiilor iniţiale, trebuie ştiut ce anume determină condiţiile iniţiale. Căutând motivele pentru care lucrurile sunt aşa cum sunt şi nu altfel, suntem împinşi tot mai adânc în trecut.

Pe măsură ce ne întoarcem mai departe în trecut, trebuie să luăm în

considerare o regiune tot mai mare a spaţiului, conţinând evenimente care i-au putut influenţa pe toţi strămoşii lui Danny sau Janet. Dacă ne întoarcem în urmă cu un milion de ani la întâlnirea întâmplătoare a doi dintre strămoşii lor *Homo erectus* din grupuri nomade diferite, trebuie să examinăm o regiune cu diametrul de două milioane de ani lumină pentru a ne asigura că nu există nici o supernovă destul de aproape pentru a dăuna Pământului. Dacă ne întoarcem până la originea vieţii pe Pământ, trebuie să examinăm o bună parte din universul observabil.

Prin urmare, dacă căutăm cauze nu doar necesare, dar şi suficiente, nu putem evita concluzia că setul complet de cauze suficiente pentru ca Danny s-o întâlnească pe Janet include condiţii la distanţe cosmologice în spaţiu şi timp faţă de acel fericit eveniment. Urmărind tot mai departe în trecut lanţul cauzal, mai devreme sau mai târziu este implicat întregul univers. Şi înainte să ajungem la capătul

cauzelor, ne găsim în momentul big bang-ului. Aşa încât cauzele suficiente ultime pentru întâlnirea lui Danny şi Janet se găsesc în condiţiile iniţiale ale universului la big bang. Aplicabilitatea finală a argumentului pentru determinism este aşadar o problemă de cosmologie. Dacă vrem să înţelegem dacă şi cum a fost determinată întâlnirea lor, avem nevoie de o teorie a întregului univers.

Problema determinismului intră în contradicţie cu faptul că metoda fizicii într-o cutie se aplică unor subsisteme mici ale universului. înainte de a putea răspunde la întrebarea dacă evenimente aparent întâmplătoare din vieţile noastre sunt complet determinate de condiţii din trecut, trebuie să ştim dacă teoriile noastre pot fi extinse la teorii asupra întregului univers.

Trăim într-o lume în care o bătaie din aripi a unui fluture poate influenţa vremea peste oceane câteva luni mai târziu. în termeni generali, mici schimbări ale

condiţiilor iniţiale sunt amplificate exponenţial producând schimbări mari ale rezultatelor. De aceea fizica într-o cutie implică în mod necesar aproximaţii. Acestea includ selecţia mărimilor observabile necesare pentru a modela- spaţiul configuraţiilor şi neglijarea influentei tuturor celorlalte lucruri din lume î asupra lor.

Totuşi, completarea acestor detalii este uşor de imaginat. Cunoscând legile fizicii aplicabile celor mai mici particule din care este alcătuit subsistemul, ne putem cel puţin imagina specificarea exactă a tuturor variabilelor necesare pentru a descrie subsistemul şi a tuturor forţelor prin care interactionează aceste variabile. Cea mai precisă descriere de care dispunem în prezent a legilor naturii şi a particulelor elementare este Modelul Standard al fizicii particulelor, care se încadrează cu uşurinţă în paradigma newtoniană. Modelul acesta conţine tot ce ştim despre natură, cu excepţia gravitaţiei, şi a

supravieţuit în mod repetat unor diverse teste experimentale.

Aşadar, de ce să nu includem restul universului? Ne putem imagina că tratăm un subsistem mai mare care conţine sistemul nostru – nu doar mingea de tenis a lui Danny, ci totul şi pe toţi cei aflaţi în parc în acea după-amiază. Să extindem din nou subsistemul pentru a include totul şi pe toţi cei din oraşul Toronto; să-l extindem încă odată pentru a include totul de pe suprafaţa şi din interiorul Pământului pe o rază de un milion de mile în jur. De fiecare dată când extindem subsistemul, putem folosi aceleaşi legi ale fizicii – deci putem utiliza paradigma newtoniană. Aproximaţia devine din ce în ce mai bună şi forţa argumentului în favoarea determinismului creşte.[3]

Dar întotdeauna ceva este omis. S-ar putea ca la marginea sistemului solar să existe un mare nor negru care va înghiţi Soarele peste un an, sau o cometă care va atinge în trecere Pământul peste

zece ani. Aceste evenimente ar putea să împiedice viitoarea căsătorie a lui Danny şi Janet. Nu e nevoie ca perturbaţia să fie mare sau să implice Pământul în mod direct. Atenţia lui Danny ar putea fi atrasă de o ştire despre o cometă care se apropie de Jupiter, iar el să meargă în parc un minut mai târziu şi să n-o întâlnească niciodată pe Janet. Milioane de oameni care ar fi fost descendentii lor nu vor trăi niciodată. În lumea noastră, amplificarea unor mici evenimente până la consecinţe majore e situaţia normală.

O teorie fizică deterministă poate fi comparată cu un calculator. Spaţiul configuraţiilor e memoria în care se introduc datele. Legea este analoagă cu programul. Rulăm programul, iar el acţionează asupra datelor de intrare, care sunt înlocuite cu datele de ieşire. Datele de intrare şi programul fiind precizate, rezultatul este complet determinat. La fiecare rulare a programului cu aceleaşi date de intrare, se obţine acelaşi rezultat.

Dar mai este ceva care trebuie să dea de gândit: rezultatul este determinat pe baza datelor de intrare şi a programului în două moduri diferite.

Dacă considerăm calculatorul ca un dispozitiv fizic, atunci el funcţionează conform legilor fizicii. Din acest punct de vedere, rezultatul e determinat cauzal de datele de intrare. Este consecinţa legilor fizicii care acţionează asupra condiţiilor iniţiale. Procesul acesta necesită timp, fiindcă procesul cauzal, aşa cum este dirijat de legile fizicii, decurge în timp.

Dar rezultatul este determinat şi într-un alt mod. Datele de intrare şi programul implică *în mod logic* rezultatul. Datele de intrare şi cele de ieşire sunt exemple de obiecte matematice. Programul este tot un obiect matematic. Se poate demonstra logic că rezultatul este o consecinţă matematică a combinaţiei dintre program şi datele de intrare. Această determinare logică nu necesită timp, fiindcă nu este implicat nici

un proces fizic. Demonstraţia că rezultatul este implicat de datele de intrare şi program e un fapt matematic, care există în lumea eternă a faptelor adevărate privind obiectele matematice.

în sensul acesta este eliminat timpul din descrierea fizicii în cadrul paradigmei newtoniene. Nu e nevoie să folosim efectiv calculatorul pentru a cunoaşte rezultatul, fiindcă acesta poate fi dedus printr-o succesiune de argumente logice. Cum este efectuată deducţia e irelevant; calculatorul este doar un instrument care utilizează legile fizicii pentru a modela o implicaţie logică printr-un proces cauzal. Dar există o infinitate de moduri posibile în care calculatorul poate fi construit şi programat, şi care ar conduce la exact acelaşi rezultat.

Esenţial este că rezultatul nu conţine nici o informaţie care să nu fie deja implicată logic în datele de intrare. Rezultatul este doar o rearanjare a datelor de intrare conform cu o anumită regulă logică.

Acesta este sensul în care nimic nou sau surprinzător nu poate fi produs vreodată. Nici nu este necesar ca evoluţia cauzală să se manifeste în timp doar pentru a reproduce efectul unei implicaţii logice, deci atemporale.

Acelaşi lucru este valabil pentru orice sistem descris în cadrul paradigmei newtoniene. în toate cazurile de felul acesta, configuraţia finală nu este altceva decât rezultatul legilor fizicii care acţionează asupra condiţiilor iniţiale. Spaţiul configuraţiilor în care există configuraţia iniţială şi cea finală este un obiect matematic, la fel şi acele configuraţii. Odată ce legile sunt exprimate ca ecuaţii matematice, evoluţia condiţiilor iniţiale în configuraţia finală după un anumit interval de timp e un fapt matematic. El poate fi dedus pe cale matematică; de fapt, poate fi demonstrat ca o teoremă matematică. Ce face paradigma newtoniană este să înlocuiască procesele cauzale – care se desfăşoară în timp – cu implicaţia

cauzală, care este atemporală. încă un mod prin care paradigma newtoniană elimină timpul.

*

Un mod de a înţelege că surpriza şi noutatea nu pot juca nici un rol e să avem în vedere că deseori o lege a fizicii poate funcţiona în sens invers. Dacă ne gândim la o lege a fizicii ca la un calculator sau un dispozitiv care transformă condiţiile iniţiale într-o configuraţie finală, ne putem imagina că legea are un comutator care poate fi răsucit pentru a inversa direcţia timpului. Ce avem de făcut e să răsucim comutatorul şi să introducem configuraţia finală ca date iniţiale. Legea va acţiona pe aceeaşi durată de timp ca mai înainte, numai că de data asta în sens invers, transformând configuraţia finală înapoi în cea iniţială. Spunem că o lege care poate funcţiona invers, pentru a readuce orice configuraţie finală în condiţiile sale iniţiale, este reversibilă în timp.

Să luăm un exemplu simplu: mişcarea de rotaţie a Pământului în jurul axei sale şi de revoluţie în jurul Soarelui. Inversând direcţia timpului, se inversează sensul mişcării de rotaţie ca şi al celei de revoluţie, dar legile lui Newton permit şi o asemenea orbită. Dacă am arăta unor extratereştri un film cu mişcarea Pământului, ei ar spune (presupunând că au noţiunea de legi ale fizicii) că mişcarea e guvernată de legile lui Newton. Dar acelaşi lucru ar fi adevărat dacă le-am arăta filmul derulat invers; ei ar conchide că aceasta e o orbită permisă de legile lui Newton. într-adevăr, dacă le-am da ambele filme şi i-am întreba care este originalul şi care inversul, ei n-ar putea spune. Acelaşi lucru ar fi adevărat pentru filmul mişcărilor întregului sistem solar, cu cele opt planete şi puzderia de alte corpuri.

Desigur, mulţi dintre noi am văzut filme derulate invers, iar majoritatea arată ciudat sau comic. Deseori aceasta nu este din cauză că mişcarea inversată ar fi interzisă

de legile fizicii; ea este posibilă, dar extraordinar de improbabilă. Lucrul acesta e în general adevărat pentru sistemele complexe care implică un număr mare de obiecte precum atomii. Aici avem de-a face cu legile termodinamicii, care nu sunt reversibile în timp şi pe care le voi discuta în capitolele 16 şi 17.[1] Deocamdată să considerăm doar două exemple simple.

Multe legi ale fizicii sunt reversibile în timp. Printre acestea se numără cele din mecanica newtoniană, din relativitatea generală şi din mecanica cuantică. Modelul Standard al fizicii particulelor este în mare parte, dar nu în întregime, reversibil în timp. (Există un aspect practic insignifiant al interactiei nucleare slabe care nu e reversibil.) Dacă luăm o istorie care a evoluat în conformitate cu Modelul Standard, inversăm direcţia timpului şi concomitent efectuăm încă două schimbări, obţinem o altă istorie pe care modelul o permite. Cele două schimbări sunt înlocuirea

particulelor cu antiparticulele lor şi inversarea stângii cu dreapta. Operaţiunea se numeşte CPT (de la sarcină [charge], paritate şi inversia în raport cu timpul), şi ne-o putem imagina ca pe un alt mod de a derula un film invers. Orice teorie compatibilă cu mecanica cuantică şi relativitatea restrânsă permite ca direcţia timpului să fie inversată în felul acesta.

Aceste inversiuni sunt încă un argument pentru irealitatea timpului. Dacă direcţia legilor naturii poate fi inversată, atunci nu poate exista, în principiu, nici o deosebire între trecut şi viitor, iar faptul că noi avem raporturi foarte diferite cu trecutul şi viitorul nu poate fi o proprietate fundamentală a lumii. Deosebirile evidente dintre viitor şi trecut trebuie să fie sau iluzii, sau consecinţele unor condiţii iniţiale speciale.

Ludwig Boltzmann, care cu descoperirile sale privind natura entropiei a făcut mai mult decât oricine altcineva pentru a lega lumea atomilor de lumea

macroscopică a experienţei cotidiene, a spus odată: „Pentru univers, cele două direcţii ale timpului sunt indiscernabile, la fel cum în spaţiu nu există sus şi jos.”[2] Iar dacă nu există nici o distincţie reală între trecut şi viitor – dacă ele au exact acelaşi conţinut, doar rearanjat în mod logic –, atunci nu e nevoie să credem în realitatea momentului prezent sau în realitatea trecerii timpului. Reversibilitatea în timp a legilor fizicii e adesea considerată încă un pas în eliminarea timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii.

Mai avem doar câţiva paşi de făcut până la dispariţia completă a timpului din fizică. Pasul următor provine din relativitatea einsteiniană, care ne va oferi cel mai puternic dintre toate argumentele în favoarea irealităţii timpului.

5. A modela, în acest context (şi pretutindeni în carte), înseamnă a crea un model matematic (n. red.).

6. Relativitate şi atemporalitate

Când aveam nouă ani, tatăl meu a adus acasă, în apartamentul nostru din Manhattan, un exemplar din cartea lui Lincoln Barnett *The Universe and Dr. Einstein,* şi împreună ne-am bătut capul cu explicaţiile sale despre teoria relativităţii. Chiar şi acum îmi amintesc diagramele cu trenuri în mişcare accelerată şi lumină stelară curbată. Acesta a fost primul meu contact cu fizica.

Pe urmă, pe la şaisprezece ani, am citit primul articol al lui Einstein despre relativitatea generală în timp ce mergeam cu metroul în centru ca să-l vizitez pe vărul meu membru al formaţiei de rock. Articolele originale ale lui Einstein erau disponibile atunci, cum sunt şi acum, într-o ediţie broşată ieftină.[1] Atras spre fizică de scrierile sale, cu

care din fericire am venit în contact înainte să fi avut ocazia să deschid un manual, nu aveam habar că întâlnisem cel mai bun exemplu de cum să exprimi în idei clare esenţa naturii. Ca şi cum ai fi înţărcat într-un restaurant franţuzesc de cinci stele, încât după aceea nu mai vrei nici în ruptul capului să mănânci cereale şi sendvişuri cu unt de arahide şi dulceaţă.

Mai târziu am descoperit că foarte puţine lucruri în fizică egalează claritatea conceptuală şi eleganţa teoriilor lui Einstein. Nici mecanica cuantică, nici teoria cuantică a câmpurilor contemporană, nici chiar mecanica newtoniană, ale cărei expuneri din manuale sunt adesea harababuri logice, subminate de definiţii confuze şi circulare ale unor concepte de bază precum masa şi forţa. Dar fiindcă am început cu Einstein, lucrările sale au devenit standardul meu ştiinţific, iar teoriile sale despre relativitate au devenit criteriile mele de evaluare, principiile lor fiind atât de sacre, pe

cât poate fi un text pentru cineva şcolit în scepticismul ştiinţei.

întâmplarea face că teoriile relativităţii ale lui Einstein sunt cele mai puternice argumente de care dispunem că timpul este o iluzie care maschează un univers etern, mai real. Pe vremea când credeam că timpul e o iluzie, principalul meu motiv se lega de teoria relativităţii.

»

Einstein a inventat două teorii ale relativităţii. Prima, relativitatea restrânsă, este o teorie despre o lume în care gravitaţia nu există. Ea a fost prezentată în două din articolele publicate de Einstein în al său „an miraculos” 1905.[2] Relativitatea generală, inventată în deceniul următor, include gravitaţia.

Cele două teorii ale relativităţii ale lui

>

Einstein sunt, în esenţa lor, teorii despre timp – sau, mai bine zis, despre atemporalitate. Ele au o nemeritată reputaţie de a fi dificile; eu le găsesc minunat de simple şi uşor de explicat. Este adevărat că

relativitatea pare la început contraintuitivă, fiindcă înlocuieşte o intuiţie greşită cu una mai profundă, despre care experimentele ne spun că e mai aproape de adevăr. A învăţa relativitatea înseamnă a trece de la un mod de organizare mentală a lumii la altul. Trebuie abandonate anumite supoziţii inconştiente asupra timpului, dar după aceea ideile principale decurg logic.

Voi vorbi în acest capitol numai despre ideile şi rezultatele teoriei relativităţii care se referă la natura timpului. Voi face afirmaţii care sper să fie clare, dar nu voi proceda ca în majoritatea cărţilor de popularizare a fizicii, anume să expun argumentele care leagă postulatele simple ale lui Einstein de consecinţele lor contraintuitive.[3]

Ne vom ocupa de două concepte din relativitatea restrânsă. Primul este *relativitatea simultaneităţii.* Al doilea, care decurge din acesta, este *universul-bloc.* Fiecare a fost

un pas important în eliminarea timpului din fizică.

în elaborarea relativităţii restrânse, Einstein a recurs la două strategii în problema naturii timpului. în primul rând, în dezbaterea dacă timpul e relaţional sau absolut, el a adoptat perspectiva relaţională: timpul se referă la schimbare, ceea ce înseamnă că se referă la relaţiile percepute. Nu există un timp absolut sau universal.

în primele sale articole, Einstein a folosit de asemenea o strategie numită *operaţionalism.* Conform acestei abordări, singura metodă semnificativă pentru a defini o mărime precum timpul este de a preciza cum poate fi ea măsurată. Dacă vrem să vorbim despre timp, trebuie să descriem ce este un ceas în teoria noastră şi cum funcţionează el. într-o abordare operaţională a ştiinţei, nu ne întrebăm ce este real, ci ce poate să observe un observator. Trebuie ţinut seama de situaţia observatorului în univers, inclusiv

unde se află şi cum se mişcă. Asta ne permite să ne întrebăm dacă diferiţi observatori vor fi de acord sau nu în legătură cu ceea ce văd. Unele dintre cele mai interesante descoperiri ale lui Einstein se referă la dezacordurile dintre observatori.

Dar cum rămâne cu realitatea? Pe fizicieni nu-i interesează ce este real, şi nu doar ce se observă? Ba da, dar deşi majoritatea operaţionaliştilor cred în realitate, ei cred de asemenea că singura cale de a ajunge la ea este prin ceea ce se observă. Testul dacă ceva e real – adevărat în mod obiectiv – este că toţi observatorii vor fi de acord în privinţa lui.

Marea descoperire legată de timp în teoria relativităţii restrânse a lui Einstein se numeşte relativitatea simultaneităţii. Problema care se pune este dacă se poate considera că două evenimente care se petrec în puncte diferite din spaţiu au loc în acelaşi timp. Einstein a constatat că există o ambiguitate în definirea simultaneităţii unor evenimente aflate la distantă unul de altul.

>

E perfect normal ca o femeie care se trezeşte dimineaţa la Toronto să se întrebe ce face iubitul ei în acelaşi moment la Singapore. Dacă asta are sens, atunci trebuie să aibă sens şi întrebarea ce se întâmplă în acel moment pe Pluto, pe o planetă din galaxia Andromeda sau în întregul univers. Einstein a demonstrat că intuiţia noastră naturală că are sens să vorbim despre ce se întâmplă chiar acum departe de noi e greşită. Doi observatori care se mişcă unul în raport cu altul nu vor răspunde la fel la întrebarea dacă două evenimente distanţate sunt simultane.

Relativitatea simultaneităţii depinde de câteva presupuneri, una dintre ele fiind că viteza luminii e universală — ceea ce înseamnă că oricare doi observatori care măsoară viteza unui foton vor fi de acord în privinţa măsurătorilor lor, indiferent cum se mişcă unul faţă de altul sau în raport cu fotonul. Putem de asemenea presupune că nimic nu

se poate deplasa mai repede decât această viteză universală.[4] Acestea fiind date, un eveniment poate influenţa un altul numai dacă un semnal care se deplasează cu o viteză egală cu (sau mai mică decât) viteza luminii porneşte de la primul şi ajunge la al doilea. Dacă acest lucru e posibil, spunem că cele două evenimente sunt *corelate cauzal,* în sensul că primul poate fi cauza celui de-al doilea.

Dar două evenimente pot fi atât de îndepărtate în spaţiu şi să aibă loc atât de aproape în timp, încât nici un semnal nu poate ajunge de la unul la celălalt. în asemenea cazuri, nici unul din cele două evenimente nu poate fi cauza celuilalt. Spunem că două astfel de evenimente nu sunt corelate cauzal. Einstein a demonstrat că în aceste cazuri nu se poate spune dacă ele sunt simultane sau dacă unul s-a petrecut înainte sau după celălalt. Ambele răspunsuri sunt posibile, depinzând de mişcarea observatorilor care poartă ceasurile cu care e măsurat timpul. Pentru ca

fizica să aibă sens, observatorii trebuie să fie de acord asupra ordinii evenimentelor corelate cauzal pentru a evita confuzia în atribuirea cauzelor. Dar nu există nici un motiv ca observatorii să fie de acord asupra ordinii unor evenimente care nu se pot influenţa unul pe altul. În teoria relativităţii restrânse a lui Einstein, ei nu sunt de acord.

Prin urmare, nu are sens ca prietena noastră din Toronto să se întrebe ce face iubitul ei în Singapore *chiar acum.*[3] Dar categoric are sens să se gândească la ce făcea el în urmă cu câteva secunde. Acele secunde sunt un timp mai mult decât suficient pentru ca el să-i fi trimis textul pe care ea îl citeşte acum; trimiterea de către el a textului şi citirea textului de către ea sunt evenimente corelate cauzal. Iar toti observatorii vor fi de acord că textul pe care ea îl trimite acum îi va schimba lui restul vieţii, începând din momentul când el citeşte vestea un minut mai târziu.

Pe lângă existenţa unei viteze-limită universale asupra căreia toţi observatorii sunt de acord, relativitatea restrânsă depinde de încă o ipoteză. Aceasta este chiar *principiul relativităţii.* El afirmă că viteza, cu excepţia vitezei luminii, este o mărime pur relativă – este imposibil de spus care observator se mişcă şi care este în repaus. Să presupunem că doi observatori se apropie unul de altul, fiecare mişcându-se cu viteză constantă. Conform principiului relativităţii, fiecare este îndreptăţit să declare că el se află în repaus, şi să pună apropierea în întregime pe seama mişcării celuilalt.

Nu există aşadar un răspuns corect la întrebările în privinţa cărora observatorii nu cad de acord, de pildă dacă două evenimente aflate la distanţă unul de altul se petrec simultan. Prin urmare, nu poate exista nimic real în mod obiectiv cu privire la simultaneitate, nimic real cu privire la „acum”. Relativitatea simultaneităţii a fost o mare lovitură pentru ideea că

timpul este reaL

Observatorii sunt de acord cu privire la ceea ce poate fi numit *structura cauzală.* Luati oricare două evenimente din istoria 3- universului şi numiţi-le X şi Y. Atunci unul din trei lucruri va fi adevărat. Sau X putea fi cauza lui Y, sau Y putea fi cauza lui X, sau nici unul nu putea fi cauza celuilalt. Asupra acestor relaţii cauzale toti observatorii sunt de acord. Structura cauzală e lista tuturor acestor relaţii, pentru toate evenimentele din univers. Se poate aşadar spune că ceea ce are realitate fizică în istoria universului include structura sa cauzală.

Aceasta e o imagine atemporală, fiindcă se referă concomitent la întreaga istorie a universului. Nu există un moment de timp privilegiat, nici o referire la „cât e ceasul” acum, nici un fel de referire la ceva care să corespundă experienţei momentului prezent. Noţiunile de „viitor”, „trecut” sau „prezent” nu au nici o semnificaţie.

>

Dacă se elimină din descrierea

naturii oferită de relativitatea restrânsă tot ce corespunde observaţiilor unor observatori particulari, rămâne structura cauzală. Fiindcă doar aceasta e independentă de observator, ea trebuie — dacă teoria este adevărată – să corespundă realităţii fizice. Prin urmare, în măsura în care relativitatea restrânsă se bazează pe principii adevărate, universul este atemporal. Este atemporal în două sensuri: nu există nimic care să corespundă experienţei momentului prezent, iar descrierea cea mai profundă este cea a întregii istorii a relaţiilor cauzale concomitent.

Imaginea aceasta a istoriei universului oferită de relaţiile cauzale împlineşte visul lui Leibniz al unui univers în care timpul este complet definit de relaţiile dintre evenimente. Relaţiile sunt singura realitate care corespunde timpului – relaţii de tip cauzal.

De fapt, pe lângă structura cauzală, mai există şi o altă informaţie asupra căreia

observatorii sunt de acord. Să considerăm un ceas fizic, care numără secundele, plutind liber în spaţiu. El bate amiaza, iar peste un minut bate ora douăsprezece şi un minut. Primul eveniment poate fi considerat o cauză a celui de-al doilea. între timp, ceasul a ticăit de şaizeci de ori. De câte ori a ticăit ceasul între cele două evenimente este un alt lucru asupra căruia toţi observatorii, indiferent de mişcarea lor relativă, pot cădea de acord. Acesta se numeşte *timpul propriu.*[6]

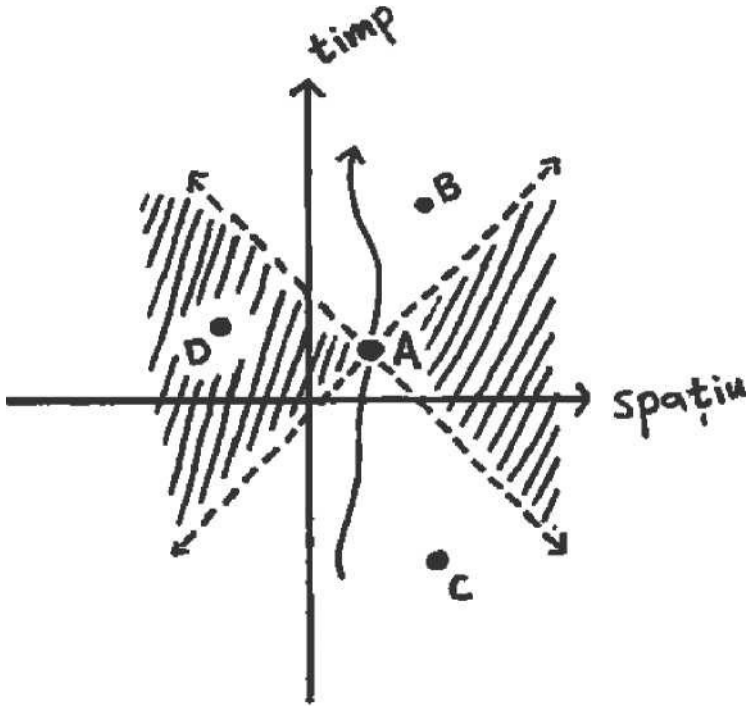
Imaginea istoriei universului, luat în ansamblu, ca un sistem de evenimente conectate prin relaţii cauzale, se numeşte *universul-bloc*.- Motivul pentru denumirea aceasta oarecum ciudată este că ea sugerează că reală este numai întreaga istorie concomitent – se face trimiterea la un bloc de piatră din care se poate sculpta ceva solid şi imuabil.

Universul-bloc este punctul culminant al mişcării începute de Galilei şi Descartes care tratează timpul ca şi cum ar fi o altă

dimensiune a spaţiului. El oferă o descriere a întregii istorii a universului ca un obiect matematic care, aşa cum am observat în capitolul 1, este atemporal. A crede că el corespunde realităţii obiective din natură înseamnă a afirma că universul e esenţialmente atemporal. Imaginea universului-bloc este al doilea pas în eliminarea timpului implicată de teoria relativităţii restrânse a lui Einstein.

Universul-bloc uneşte spaţiul şi timpul. El poate fi reprezentat ca un fel de spaţiu-timp, cu trei dimensiuni pentru spaţiu şi a patra pentru timp (vezi figura 10). Un eveniment care are loc la un anumit moment în timp este reprezentat ca un punct în spaţiu-timp, iar istoria unei particule e descrisă de o curbă în spaţiu-timp numită linia sa de univers. Prin urmare, timpul a fost complet subordonat geometriei; spunem că timpul a fost spaţializat sau geometrizat. Legile fizicii sunt reprezentate geometric; de exemplu, liniile de univers ale particulelor libere sunt drepte în

spaţiu-timp. Dacă particula e un foton, îi reprezentăm mişcarea sub forma unei drepte înclinate la 45 de grade (ceea ce corespunde cu a măsura spaţiul în unităţi de timp, ca atunci când vorbim despre ani-lumină). Orice particulă obişnuită trebuie să se deplaseze mai încet decât un foton, purtătorul luminii, prin urmare linia sa de univers va fi înclinată sub un unghi mai mare.



- B este în viitorul lui A.
- C este în trecutul lui A.
- D este deconectat cauzal de A.

Fig. 10. Imaginea spaţiului- timp ca univers-bloc.
Un spaţiu-timp cu o dimensiune spaţială şi una temporală. Alegem unităţile de timp şi spaţiu

astfel încât razele de lumină se deplasează sub
unghiuri de 45 de grade. Structura cauzală este
atunci indicată în mod geometric; două
evenimente pot fi corelate cauzal dacă ele pot fi
legate printr- o dreaptă cu o înclinaţie de 45 de
grade sau mai mare. Vedem de asemenea linia de
univers a unei particule îndreptându- se dinspre
trecut către viitor prin evenimentul A. Sunt
desenate şi două raze de lumină care trec prin A.
Regiunile haşurate conţin evenimente care nu
sunt corelate cauzal cu A.

Această reprezentare geometrică elegantă a relativităţii speciale a fost inventată în 1909 de Hermann Minkowski, care fusese unul dintre profesorii de matematică ai lui Einstein. în cadrul ei, orice fapt fizic referitor la mişcare implicat de relativitatea restrânsă este

reprezentat ca o teoremă despre geometria spaţiului-timp. Inventarea de către Minkowski a ceea ce acum numim spaţiul- timp Minkowski a fost un pas decisiv în eliminarea timpului, întrucât a stabilit în mod convingător că toate afirmaţiile despre mişcarea în timp pot fi transpuse în teoreme matematice despre o geometrie atemporală. Hermann Weyl, unul dintre marii matematicieni ai secolului XX, spunea: „Lumea obiectivă pur şi simplu este, ea nu se petrece. Numai pentru privirea conştiinţei mele, care se târăşte de-a lungul liniei de univers a corpului meu, o secţiune a lumii capătă viaţă ca o imagine efemeră în spaţiu care se modifică permanent în timp.”[7]

Pentru a ilustra puterea imaginii universului-bloc, iată un mic argument adus de unii filozofi în sprijinul său. Argumentul depinde numai de relativitatea simultaneităţii. Să începem prin a conveni că prezentul este real. Nu putem fi atât de siguri că viitorul sau trecutul sunt reale — de fapt,

scopul acestui argument e să aflăm cât sunt de reale –, dar nu avem nici o îndoială că prezentul este real. Prezentul constă din multe evenimente, nici unul dintre ele mai real decât altul. Nu ştim dacă două evenimente din viitor sunt reale, dar vom conveni că dacă două evenimente au loc în acelaşi timp ele sunt la fel de reale, indiferent dacă acel timp este prezent, trecut sau viitor.

Dacă suntem operaţionalişti, trebuie să vorbim despre ce văd observatorii. Prin urmare, afirmăm că *două evenimente sunt la fel de reale dacă există un observator care le vede ca simultane.* Vom presupune, de asemenea, că proprietatea de a fi „la fel de real” este tranzitivă; altfel spus, dacă A şi B sunt la fel de reale, iar B şi C sunt la fel de reale, acelaşi lucru este valabil pentru A şi C. Argumentul exploatează faptul că în relativitatea restrânsă prezentul depinde de observator. Să alegem oricare două evenimente din istoria universului, dintre care unul e

cauza celuilalt. Să le numim A şi B. întotdeauna va exista un alt eveniment X, care are următoarea proprietate: există un observator, Maria, pentru care A e simultan cu X; şi există un alt observator, Freddy, pentru care X e simultan cu B, după cum e ilustrat în figura 11.

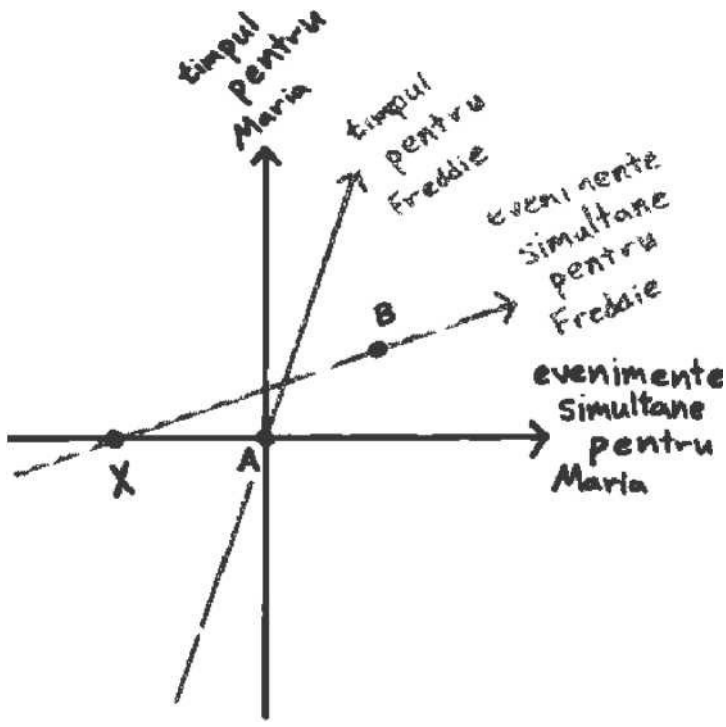


Fig. 11. Argumentul în favoarea universului- bloc care decurge din simultaneitate. Pentru oricare două evenimente corelate cauzal, A şi B, întotdeauna există un eveniment X în aşa fel încât există un observator pentru care X şi A sunt simultane, şi un observator pentru care X şi B sunt simultane.

Pentru a înţelege de ce trebuie să existe X, ai nevoie să ştii nu doar că simultaneitatea e relativă, dar şi că

este cât se poate de relativă, în următorul sens: o consecinţă a postulatelor lui Einstein este că dacă două evenimente au loc simultan pentru un anumit observator, pentru toţi ceilalţi observatori ele nu vor fi corelate cauzal. Este de asemenea adevărat că, dacă două evenimente nu sunt corelate cauzal, va exista un observator pentru care ele sunt simultane, astfel încât simultaneitatea este cât se poate de relativă, respectând totodată cauzalitatea.

Dacă B este departe în viitorul lui A, atunci X trebuie să fie suficient de departe de ambele, încât nici un semnal luminos să nu se poată deplasa de la A la X sau de la X la B. Dar universul descris de Minkowski este infinit, prin urmare aceasta nu e o problemă.[8]

Acum putem raţiona în felul următor: în virtutea criteriului pe care l-am dat, A este la fel de real ca X. Dar B de asemenea este la fel de real ca X. Deci A şi B sunt la fel de reale. Dar A şi B sunt oricare

două evenimente corelate cauzal din istoria universului. Prin urmare, dacă există un sens în care un eveniment din univers este real, acea realitate este împărtăşită de toate celelalte evenimente. Nu există nici o diferenţă între prezent, trecut şi viitor. Realul înseamnă toate evenimentele din univers, luate împreună. Conchidem aşadar că realitatea lumii constă în ansamblul istoriei sale. Momentele de timp, sau trecerea lor, nu au nici o realitate.

Puterea acestui argument al universului- bloc stă în faptul că pentru a-l accepta trebuie să crezi doar că prezentul este real; argumentul te forţează apoi să crezi că viitorul şi trecutul sunt la fel de reale ca prezentul. Dar dacă *nu este* nici o distincţie între prezent, trecut şi viitor – dacă formarea Pământului sau naşterea stră-stră-stră-strănepoatei mele sunt la fel de reale ca momentul în care scriu aceste cuvinte –, atunci prezentul nu are nici o prerogativă specială în privinţa realităţii, reală fiind doar

întreaga istorie a universului.

Hilary Putnam, un eminent filozof contemporan, a reflectat asupra acestui argument:

> Eu conchid că problema realităţii şi a caracterului determinat al evenimentelor viitoare este acum rezolvată. Mai mult, ea e rezolvată de fizică, şi nu de filozofie. [...] De fapt, nu cred că mai există probleme filozofice legate de Timp; există

> doar problema fizică de a determina geometria fizică exactă a continuumului cvadridimensional în care trăim.[9]

Un alt nume pentru perspectiva universului- bloc este eternalism. Filozofii contemporani au creat o literatură considerabilă despre toate aspectele sale. Una dintre întrebările discutate este dacă perspectiva universului- bloc e compatibilă cu modul în care vorbim despre timp. Atât oamenii obişnuiţi, cât şi filozofii folosesc cuvinte ca „acum”, „viitor” şi „trecut”. Cuvintele acestea au vreo semnificaţie, dacă realitatea constă din întreaga istorie a lumii luată în ansamblu? Ce înţelegem atunci când spunem „Acum sunt într-un tren sub Canalul Mânecii”, dacă acum nu este mai real decât oricare alt moment?

O perspectivă numită compatibilism susţine că limbajul obişnuit nu pune nici o problemă atâta vreme cât cuvinte precum „mâine” sau „acum” sunt înţelese

ca denotând un punct de vedere care ne oferă acces nemijlocit la unele fapte legate de realitatea atemporală, făcând totodată ca altele să fie greu accesibile. Vorbim cu uşurinţă despre „aici” şi „acolo”, încredinţaţi că obiectele apropiate şi cele îndepărtate sunt la fel de reale. De aceea unii filozofi susţin că „acum” şi „viitor” nu sunt în realitate foarte diferite de „aici” şi „acolo”; toate denotă o anumită perspectivă care influenţează ce vedem în jurul nostru, dar nu afectează ce este real. Când folosesc cuvântul „acum”, nu subînţeleg neapărat că acest acum este special; doar descriu perspectiva mea. întotdeauna există o trimitere implicită la care mă refer acum şi pe care presupun că interlocutorul meu o împărtăşeşte.

Toate bune şi frumoase, cu condiţia însă ca universul-bloc să fie o descriere corectă a naturii. Alţi filozofi se îndoiesc că aşa stau lucrurile. John Randolph Lucas scrie: „Universul-bloc oferă o viziune profund inadecvată asupra

timpului. El nu reuşeşte să explice trecerea timpului, preeminenţa prezentului, direcţionalitatea timpului şi diferenţa dintre viitor şi trecut.”[10]

Aceasta e dezbaterea la care se referă argumentele din cartea de faţă. Nu le abordez în termenii favorizaţi de filozofi, care sunt deseori asociaţi cu analize lingvistice. Mă interesează în schimb presupoziţiile lor din fizică – printre care aceea că relativitatea restrânsă poate fi aplicată la întreaga istorie a universului. Dar relativitatea restrânsă nu poate fi aplicată întregului univers, fiindcă ea nu conţine toată fizica; în particular, ea nu include gravitaţia. Ea poate fi, în cel mai bun caz, doar o aproximaţie a unei teorii care include gravitaţia. Problema extinderii teoriei relativităţii asupra gravitaţiei a fost rezolvată prin crearea unei teorii încă şi mai profunde, care este relativitatea generală. Aceasta i-a luat lui Einstein zece ani de muncă grea.

Totuşi, acele trăsături ale

relativităţii restrânse care prezintă interes filozofic se extind asupra teoriei relativităţii generale a lui Einstein. Relativitatea simultaneităţii

>

rămâne adevărată – şi, de fapt, este extinsă. Aşa încât argumentul filozofic pe care tocmai l-am schiţat îşi păstrează valabilitatea şi duce la aceeaşi concluzie: singura realitate este întreaga istorie a universului în ansamblul lui.

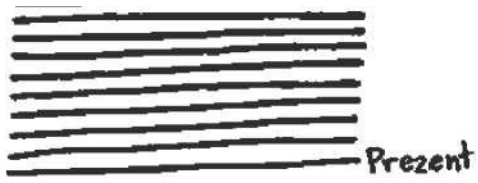
Rămâne de asemenea adevărat în relativitatea generală că toate informaţiile independente de observator sunt incluse în structura cauzală şi timpul propriu. Dacă istoria întregului univers este reprezentată în relativitatea generală, rezultatul rămâne imaginea universului-bloc.

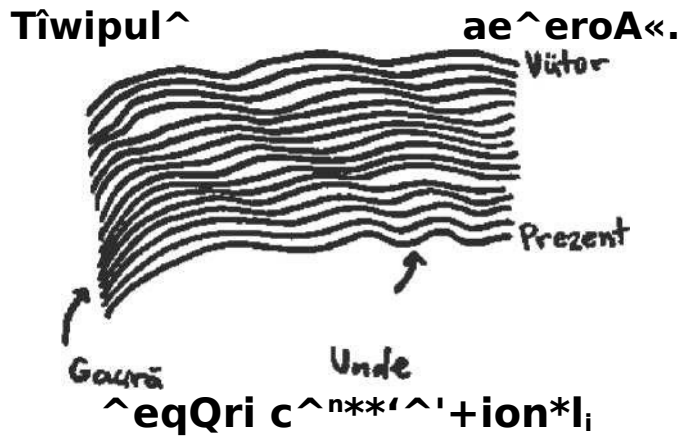
*

Relativitatea generală nu numai că păstrează acele trăsături ale relativităţii restrânse conform cărora timpul este ireal, dar introduce altele noi în acelaşi sens.

În primul rând, există mult mai multe moduri de a diviza spaţiul-timp în spaţiu şi timp (vezi figura 12). Putem defini timpul în funcţie de o reţea de ceasuri răspândite în tot universul, dar ceasurile se pot comporta ciudat – adică ele pot merge cu viteze diferite în locuri diferite, şi fiecare poate accelera sau încetini. Descriem asta spunând că în relativitatea generală timpul poate fi multiform *[manyfingered].* În al doilea rând, geometria spaţiului şi a spaţiului-timp nu mai e simplă sau regulată. Ea devine generală: gândiţi-vă la o suprafaţă curbă *oarecare,* nu doar un plan sau o sferă. Iar geometria devine dinamică. Unde, pe care le numim unde gravitaţionale, se deplasează prin geometria spaţiului-timp. Găuri negre se pot forma, mişca, roti una în jurul alteia. O configuraţie a lumii nu mai este dată de particule poziţionate în spaţiu; configuraţia implică acum geometria spaţiului însuşi.

Timpul „cUşiurif — Vitfpr





^eqQri c^n**'^'+ion*l¡

Fig. 12. Comparăm noţiunea obişnuită de timp cu noţiunea mai arbitrară din relativitatea generală. În mod normal considerăm că timpul se scurge la fel de repede pretutindeni, astfel încât suprafeţele echitemporale sunt egal distanţate,

A

cum se vede în imaginea de sus. În relativitatea generală, timpul poate fi măsurat în fiecare punct de un ceas diferit, fiecare mergând arbitrar de repede în comparaţie cu celelalte, atâta vreme cât suprafeţele echitemporale nu sunt corelate cauzal între ele. Spunem că timpul are libertatea de a fi „multiform” [many- fingered], aşa cum se vede în imaginea de sus.

Dar ce legătură are geometria

spaţiului şi a spaţiului-timp cu gravitaţia? Relativitatea generală se bazează pe cea mai simplă dintre toate ideile ştiinţifice, şi anume: căderea e o stare naturală.

Marile revoluţii în fizică pot fi caracterizate prin schimbări în ceea ce se consideră a fi mişcarea naturală, unde prin „natural” înţelegem o mişcare ce nu are nevoie de explicaţie. Pentru Aristotel, mişcarea naturală însemna a fi în repaus în raport cu centrul Pământului. Orice altă mişcare era nenaturală şi necesita o explicaţie, de pildă o forţă care acţionează asupra corpului pentru a-l pune în mişcare şi a-l menţine în mişcare. Pentru Galilei şi Newton, mişcarea naturală era în linie dreaptă şi cu viteză constantă, iar o forţă era invocată ca explicaţie numai dacă viteza sau direcţia mişcării se schimbau – ceea ce noi numim acceleraţie. De aceea nu simţim mişcarea într-un avion sau într-un tren atât timp cât ele se

mişcă fără acceleraţie.

Aţi putea întreba: dacă toate mişcările sunt relative, nu contează în raport cu cine accelerează avionul sau trenul? Contează, şi răspunsul este: în raport cu alţi observatori care se mişcă fără acceleraţie. Nu este un cerc vicios? Nu, dacă adăugăm că există o categorie largă de observatori care nu simt nici un efect al mişcării lor, toţi având în comun faptul că se deplasează cu viteze şi pe direcţii constante unele în raport cu altele. Aceşti observatori speciali sunt numiţi *observatori inerţiali,* iar legile lui Newton sunt definite în raport cu ei. Prima lege a lui Newton afirmă atunci că particulele libere (în sensul că asupra lor nu acţionează nici o forţă) se mişcă, în raport cu observatorii inerţiali, cu viteză şi pe o direcţie constante.

De aceea, fiindcă veni vorba, contează dacă Soarele sau Pământul se mişcă. Direcţia de mişcare a Pământului se modifică permanent – în raport cu oricare dintre observatorii inerţiali – în timp

ce se roteşte în jurul Soarelui. Aceasta este o acceleraţie; ea necesită o explicaţie, care este oferită de influenţa gravitaţională a Soarelui.

Pentru Newton, gravitaţia era o forţă, asemenea altor forţe. Dar Einstein şi-a dat seama că este ceva special în privinţa mişcării provocate de gravitaţie, anume că toate corpurile cad cu aceeaşi acceleraţie, indiferent de masă sau orice alte proprietăţi ale lor. Aceasta este o consecinţă a legilor lui Newton. Acceleraţia unui corp e invers proporţională cu masa lui, dar Newton afirmă că gravitaţia atrage un corp cu o forţă direct proporţională cu masa lui. Efectele maselor se anulează, încât acceleraţiile provocate de gravitaţie nu depind de masa corpului, şi toate corpurile cad cu aceeaşi acceleraţie.

Einstein a captat naturaleţea căderii în cel mai frumos principiu din toată opera lui – şi din toată fizica – pe care l-a numit *principiul echivalentei.* Acesta afirmă că în

De aceea a fost Einstein un geniu de primă mărime. Nu datorită complexităţilor matematice din formularea finală a relativităţii generale – acestea sunt amănunte pe care majoritatea studenţilor la matematică şi fizică le stăpânesc cu uşurinţă –, ci datorită modului în care a reuşit să ne schimbe perspectiva asupra unuia dintre cele mai simple aspecte ale experienţei noastre, înainte de Einstein, credeam că ceea ce simţim toată ziua, în fiecare zi, este

gravitaţia care ne trage în jos. Einstein şi-a dat seama că greşim. Ceea ce simţim este podeaua care ne împinge în sus.

Einstein a luat ideea aceasta, cea mai simplă şi mai naturală dintre toate, şi cu ajutorul unui prieten matematician pe nume Marcel Grossmann a transformat-o într-o ipoteză despre geometria lumii. Această ipoteză se baza pe cea mai simplă noţiune din geometrie, cea de linie dreaptă.

O linie dreaptă este definită în geometria din şcoală ca drumul cel mai scurt dintre două puncte. Definiţia aceasta se aplică pentru un plan, dar poate fi extinsă la suprafeţe curbe. Să ne gândim la o sferă, cum ar fi suprafaţa Pământului. S-ar putea crede că aici nu mai există linii drepte, dat fiind că suprafaţa e curbă, dar lucrurile nu stau aşa dacă prin linie dreaptă înţelegem traiectoria care urmează cea mai scurtă distantă dintre

două puncte. Curbele care satisfac această definiţie se numesc

geodezice. Când spaţiul este plan, geodezicele sunt linii drepte; când spaţiul este o sferă, geodezicele sunt segmente de cercuri mari, iar acestea sunt rutele urmate de avioane ca drumul cel mai scurt dintre oraşe.[11]

Dacă traiectoriile obiectelor care cad într- un câmp gravitaţional sunt mişcările naturale, ele trebuie să generalizeze liniile drepte de-a lungul cărora, potrivit lui Newton, se mişcă obiectele asupra cărora nu acţionează nici o forţă. Dar acum trebuie să î J alegem, fiindcă la fel cum particulele libere se mişcă de-a lungul unor linii drepte în spaţiu, ele se mişcă de-a lungul unor linii drepte în spaţiul-timp Minkowski. Prin urmare, vrem să reprezentăm gravitaţia curbând spaţiul sau curbând spaţiul-timp?

Din perspectiva universului-bloc, răspunsul este clar: spaţiul-timp trebuie să fie curbat. Dată fiind relativitatea simultaneităţii, observatorii nu cad de acord în privinţa evenimentelor care sunt

simultane. Nu există o metodă simplă, obiectivă, independentă de observator, pentru a descrie cum e curbat spaţiul.

Când Einstein a ales să aplice principiul echivalenţei curbând spaţiul-timp, ideea lui a fost că influenţa gravitaţiei va fi transmisă prin curbură, aşa încât obiectele care cad într-un câmp gravitaţional se vor deplasa dea lungul geodezicelor. Obiectele în cădere liberă vor cădea spre Pământ nu fiindcă simt o forţă, ci fiindcă spaţiul-timp a fost curbat aşa încât geodezicele se arcuiesc spre centrul Pământului. Planetele se rotesc în jurul Soarelui nu fiindcă Soarele exercită o forţă asupra lor, ci fiindcă enorma lui masă curbează geometria spaţiului-timp aşa încât geodezicele se curbează în jurul lui.

În felul acesta Einstein a explicat gravitaţia ca pe un aspect al geometriei spaţiului-timp. Geometria acţionează asupra materiei ghidând-o de-a lungul geodezicelor. Dar ce e minunat la relativitatea generală a lui Einstein

e faptul că această acţiune e reciprocă. Einstein a afirmat că masa face ca geometria să se curbeze, aşa încât geodezicele accelerează spre corpurile masive. Pentru a aplica această idee, el a propus ecuaţii care determină spaţiul-timp să se curbeze exact cum trebuie pentru a imita efectele gravitaţiei.

Aceste ecuaţii au multe consecinţe care au » J fost confirmate prin observaţii de înaltă precizie. Ele provoacă expansiunea întregului univers. Ele prezic că orbitele planetelor în jurul Soarelui şi cea a Lunii în jurul Pământului se abat foarte puţin de la predicţiile fizicii newtoniene, iar efectele acestea au fost observate. Ele fac ca spaţiul- timp din jurul corpurilor extrem de compacte să se curbeze atât de mult încât nici măcar lumina nu poate scăpa; acestea sunt găurile negre, şi există unele extraordinar de masive – cu mase de multe milioane de ori mai mari decât cele ale stelelor – în centrul majorităţii galaxiilor.

Poate cea mai remarcabilă consecinţă a ecuaţiilor relativităţii generale este faptul că geometria spaţiului-timp e distorsionată la trecerea unor unde prin el. Acestea sunt analoage cu distorsiunile de pe suprafaţa unui lac; geometria spaţiului este cea care oscilează când îl străbat undele. Undele gravitaţionale sunt produse de schimbări rapide în mişcarea unor corpuri foarte masive, cum ar fi două stele neutronice care orbitează una în jurul celeilalte, iar ele poartă prin univers imaginile acestor evenimente violente. în prezent se depune un mare efort pentru a detecta aceste imagini[2], care vor deschide astronomiei o nouă fereastră ce ne va permite să vedem în interiorul supernovelor care colapsează şi înapoi în timp până la primele momente ale big hangului – şi poate chiar înainte.

Efectele undelor gravitaţionale au fost observate indirect. Atunci când două stele neutronice se rotesc rapid una în jurul celeilalte, undele gravitaţionale pe care le produc

absorb energie, făcându-le să se apropie una de alta pe traiectorii spirale. Această apropiere în spirală a fost observată şi s-a constatat că ea corespunde cu un grad înalt de precizie predicţiilor relativităţii generale.

*

Elaborând relativitatea generală, Einstein a declanşat o transformare radicală a perspectivei despre spaţiu şi timp.

în fizica newtoniană, geometria spaţiului este fixată o dată pentru totdeauna. Spaţiul se presupune că are geometria spaţiului euclidian tridimensional. Apare deci o asimetrie îngrijorătoare în relaţia dintre spaţiu şi timp în fizica newtoniană: spaţiul pare să spună materiei cum să se mişte, dar el însuşi nu se schimbă niciodată. Nu există reciproca. Spaţiul nu este niciodată influenţat de mişcarea materiei, sau măcar de prezenţa ei. Spaţiul, se pare, ar fi exact la fel chiar dacă nu ar conţine deloc materie.

Această asimetrie e corectată în relativitatea generală, unde spaţiul devine dinamic. Materia influenţează modificările î geometriei la fel cum geometria influenţează mişcarea materiei. Geometria devine pe deplin un aspect al fizicii, la fel şi câmpul electromagnetic. Ecuaţiile lui Einstein care explicitează dinamica spaţiului-timp sunt deci asemenea altor ipoteze: ele investighează proprietăţile fenomenelor fizice şi relaţiile lor reciproce.

Dacă geometria spaţiului-timp ar fi fixată pentru totdeauna, am spune că spaţiul şi timpul sunt absolute: numai detaliile diferă faţă de concepţia lui Newton că proprietăţile spaţiului şi timpului sunt atemporale şi fixate. Faptul că geometria e dinamică şi influenţată de distribuţia materiei împlineşte ideea lui Leibniz că spaţiul şi timpul sunt pur relationale.

în formularea unei teorii relationale a spaţiului şi timpului, Einstein a fost călăuzit de Ernst Mach, care a introdus un principiu

pe care-l numim *principiul lui Mach.* Acesta afirmă că numai mişcarea relativă contează, prin urmare, dacă ameţim atunci când ne învârtim, este din cauză că ne învârtim în raport cu galaxiile îndepărtate. Aserţiunea că efectul se datorează exclusiv mişcării relative implică faptul că ne-am simţi la fel de ameţiţi dacă am sta nemişcări şi întregul univers s-ar roti în jurul nostru.

Dar deşi relativitatea generală este radicală în aceste privinţe, ea e conservatoare în altă privinţă, anume că se încadrează perfect în paradigma newtoniană. Există un spaţiu al configuraţiilor posibile ale geometriei şi materiei luate împreună. Condiţiile initiale fiind date, ecuaţiile lui

»5 ' >

Einstein determină complet viitoarea geometrie a unui spaţiu-timp particular cu tot ce conţine el, inclusiv materie şi radiaţie.

Iar în relativitatea generală, întreaga istorie a universului e reprezentată tot de un obiect

matematic. Spaţiul-timp al relativităţii generale corespunde unui obiect matematic mult mai complex decât spaţiul euclidian tridimensional al teoriei lui Newton. Dar privit ca un univers-bloc, el este atemporal şi intact, fără vreo distincţie între viitor şi trecut şi fără vreun rol ori indiciu pentru felul în care percepem prezentul.

*

Relativitatea generală a mai dat încă o lovitură rolului fundamental al timpului în fizică. Ideea că timpul este real şi fundamental presupune implicit că el nu poate avea un început. Căci dacă timpul are un început, atunci acea origine a timpului trebuie să fie explicabilă în termenii a ceva care nu este timp. Iar dacă timpul este explicabil în termenii a ceva atemporal, atunci el nu este fundamental, iar entitatea din care apare, oricare ar fi aceasta, e „mai fundamentală”. Dar în toate modelele plauzibile de univers descrise de ecuaţiile relativităţii generale timpul are întotdeauna un

început.

La un an după publicarea, în 1916, a teoriei relativităţii generale, Einstein a aplicat-o întregului univers. El a făcut asta imaginându-şi că universul e finit ca întindere, dar fără o margine – asemenea unei sfere. Acesta a fost un pas profund; pentru prima oară, universul putea fi considerat de sine stătător şi finit. Dar deşi limitat ca mărime, e imposibil să ieşim din el. „în afara universului” nu are nici un sens.

închizând universul, Einstein a trebuit să presupună că toate ceasurile folosite pentru măsurarea timpului sunt în interiorul sistemului. El a putut face asta fiindcă ecuaţiile teoriei sale au o trăsătură nouă, anume că ele au sens indiferent ce ceasuri se folosesc pentru măsurarea timpului şi ce dispozitive se folosesc pentru măsurarea spaţiului. Timpul şi spaţiul pot fi măsurate într-un mod oricât de bizar şi dezordonat fără ca aceasta să afecteze funcţionarea ecuaţiilor. Aşa încât teoria nu mai era dependentă de măsurători

făcute cu ceasuri speciale aflate în afara sistemului.[12] Eliminând necesitatea unui ceas exterior sistemului, relativitatea generală face câţiva paşi în direcţia unei teorii relationale a fizicii. Dar ea se bazează tot pe paradigma newtoniană, întrucât poate fi formulată în termenii unor legi atemporale care acţionează asupra unui spaţiu al configuraţiilor atemporal.

La început, Einstein a încercat să modeleze un univers care era nu doar finit în spaţiu, ci şi etern şi neschimbător în timp. Deşi Einstein a fost omul de ştiinţă cu gândirea cea mai originală, imaginaţia lui l-a trădat de data aceasta, întrucât se pare că nu i-a trecut prin minte să conceapă universul altfel decât static şi etern. Dar exista o problemă, anume că forţa gravitaţională este în mod universal atractivă şi întotdeauna acţionează pentru a aduce lucrurile la un loc. Asta înseamnă că gravitaţia acţionează asupra întregului univers pentru a-l face să se

contracte. Dacă universul se extinde, gravitaţia îi va încetini expansiunea. Dacă el nici nu se extinde, nici nu se contractă, gravitaţia va acţiona pentru a începe o contracţie. Einstein ar fi putut aşadar prezice că universul trebuie să fie variabil în timp, extinzându-se sau contractându-se. în schimb, el şi-a modificat teoria în încercarea de a menţine universul static, iar astfel a făcut fără să vrea o altă descoperire – care a fost abia de curând confirmată observational.

Einstein şi-a modificat ecuaţiile adăugând un termen care se opune gravitaţiei şi face ca universul să se extindă. Modificarea a introdus o nouă constantă a naturii, reprezentând o densitate de energie a spaţiului vid. Einstein a numit-o *constantă cosmologică.* O dovadă convingătoare în favoarea ei este oferită de recent observata accelerare a expansiunii universului. Un nume mai general pentru cauza expansiunii accelerate este *energie întunecată,* dar dacă

densitatea acesteia e constantă în spaţiu şi timp, ea poate fi descrisă de constanta cosmologică a lui Einstein. Până acum observaţiile sunt compatibile cu aceasta, dar există şi scenarii cosmologice în care energia întunecată trebuie până la urmă să varieze.

Nu cred că Einstein şi-a imaginat vreodată că într-o bună zi constanta aceasta va fi măsurată, dar a fost. Are o valoare incredibil de mică – şi consecinţe enorme. Deşi minusculă, efectele sale se însumează pe întinderea universului. Există aşadar două forţe opuse care acţionează asupra universului. Gravitaţia provenită de la întreaga materie provoacă contracţie, în vreme ce constanta cosmologică accelerează expansiunea.

Einstein a propus un univers static, în care aceste forţe se echilibrează exact. Dar şi în cazul acesta exista o problemă — echilibrul e instabil. Dati universului doar un mic bobârnac, şi una din tendinţe va învinge, aşa încât el trebuie fie să se extindă

veşnic, fie să se contracte. Universul este plin de stele în mişcare, găuri negre şi unde gravitaţionale, iar acestea ar da suficiente bobârnace pentru a garanta că el nu poate rămâne mult timp în echilibru.

Concluzia uimitoare este că universul trebuie să aibă o istorie. El se poate extinde şi se poate contracta, dar nu poate rămâne neschimbat. în anii 1920, mai mulţi astronomi şi fizicieni au descoperit soluţii ale ecuaţiilor relativităţii generale — soluţii care descriu universuri în expansiune. Aceasta a fost oportun, deoarece în 1927 astronomul Edwin Hubble descoperise dovezi că universul e în expansiune – ceea ce presupune că a avut un început. Şi, într- adevăr, toate noile soluţii care nu erau instabile aveau un prim moment în timp.

Acele soluţii sunt asociate cu numele lui Aleksandr Friedmann, H.P. Robertson, Arthur Walker şi Georges Lemaître şi se numesc universuri FRWL. Sunt modele

foarte simple, deoarece presupun că universul este la fel pretutindeni în spaţiu: altfel spus, densitatea materiei şi a radiaţiei este aceeaşi peste tot. în primul moment de timp într-un univers FRWL, densitatea materiei şi a radiaţiei şi intensitatea câmpului gravitaţional devin infinite şi constituie o *singularitate iniţială.* în acel punct, relativitatea generală nu mai funcţionează, pentru că ecuaţiile nu mai descriu evoluţia viitorului pornind de la prezent. Mărimile infinite le fac inutilizabile.

Reacţia majorităţii fizicienilor a fost că ecuaţiile dădeau greş fiindcă modelele studiate erau prea simple. Ei au susţinut că prin introducerea mai multor detalii – astfel încât universul să poată avea caracteristici locale, precum stele, galaxii şi unde gravitaţionale – singularitatea ar fi eliminată şi am putea continua să extrapolăm timpul înapoi dincolo de acel punct. Ipoteza aceasta era greu de confirmat, deoarece înainte de apariţia supercalculatoarelor studiul complet al soluţiilor

generale ale ecuaţiilor teoriei lui Einstein era imposibil. Ca urmare, ipoteza a supravieţuit timp de câteva decenii numai fiindcă era dificil de testat. Dar ea s-a dovedit a fi greşită. în anii 1960, Stephen Hawking şi Roger Penrose au demonstrat o
teoremă care afirmă că toate soluţiile
>
ecuaţiilor relativităţii generale capabile să descrie universul nostru conţin singularităţi.

Dacă relativitatea generală este o descriere corectă a universului nostru, e greu de evitat concluzia că timpul nu poate fi fundamental. Altminteri trebuie să răspundem la câteva întrebări stingheritoare, de pildă: Ce s-a întâmplat înainte de începutul timpului? Şi ce a pus în mişcare universul? Şi mai enigmatice sunt întrebările despre legile atemporale: Dacă legile sunt atemporale, ce făceau ele înainte de a fi existat un univers pe care să-l guverneze? în mod evident răspunsul este că *nu a existat* timp

înaintea universului, ceea ce înseamnă că legile trebuie să fie un aspect al lumii mai profund decât timpul.

în unele dintre aceste soluţii, timpul, odată pornit, continuă veşnic, pe măsură ce universul se extinde şi se diluează. Dar în alte soluţii, universul atinge o expansiune maximă, după care colapsează într-o mare implozie *(big crunch),* în care multe mărimi observabile devin din nou infinite; aceste din urmă soluţii descriu universuri în care timpul are, de asemenea, un sfârşit. Un timp care porneşte şi se opreşte nu reprezintă o problemă pentru imaginea universului-bloc, în cadrul căreia reală este istoria universului luată ca un întreg atemporal. Acea realitate nu este compromisă dacă ea implică o lume în care timpul începe sau se sfârşeşte. Dimpotrivă, descoperirea unui început al timpului în soluţii ale ecuaţiilor relativităţii generale care descriu un întreg univers consolidează imaginea universului-bloc, întrucât

subminează orice afirmaţie că timpul este „mai fundamental” decât legea.

Am străbătut o cale lungă în povestea eliminării timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii. Am început, la fel ca Galilei şi Descartes, captând mişcarea şi încremenind timpul prin metoda lor grafică, în care timpul e reprezentat ca şi cum ar fi o altă dimensiune a spaţiului. în teoria relativităţii, aceste imagini ale mişcării aşezate în timp devin spaţiu-timp, o imagine atemporală a istoriei universului în care momentului prezent nu i se atribuie nici o realitate. Relativitatea simultaneităţii ne spune că nu ne putem întoarce pentru a separa timpul de spaţiu. Putem merge doar înainte către imaginea universului-bloc, în care istoria universului e prezentată ca un întreg atemporal. Relativitatea restrânsă şi cea generală fiind bine confirmate experimental, noi, fizicienii, avem
într-adevăr multe motive să adoptăm o imagine atemporală a

realităţii.

6. Pentru o prezentare detaliată a noţiunii de univers-bloc, vezi Jim Al-Khalili, *Găuri negre, găuri de vierme şi călătoria în timp* (Humanitás, Bucureşti, 2021) (n. red.).

7. Unde gravitaţionale provenite din contopirea a două găuri negre au fost detectate pentru prima oară pe 14 septembrie 2015. Doi ani mai târziu, pe 17 august 2017, au fost observate şi unde gravitaţionale generate de ciocnirea a două stele neutronice. Fenomenul a avut loc în galaxia NGC 4993, aflată la circa 130 de milioane de ani-lumină, în constelaţia Hydra (n. tr.).

7.Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului

în vacanţa de Crăciun de la sfârşitul primului meu semestru la Hampshire College, am venit la New York să stau în apartamentul din Greenwich Village al vărului meu. Dimineaţa, am luat metroul spre centru, la prima mea conferinţă de fizică, grandios intitulată al VI-lea Simpozion de Astrofizică Relativistă din Texas, care se ţinea la un hotel elegant din centrul Manhattanului. Nu fusesem invitat şi nu cred că mă înscrisesem, dar Herb Bernstein, profesorul meu de fizică, îmi sugerase să trec pe acolo. Nu cunoşteam pe nimeni, dar cumva l-am întâlnit pe Kip Thorne, de la Caltech, care mi-a spus că pentru a învăţa bine relativitatea generală trebuia să studiez după manualul pe care tocmai îl scrisese împreună cu

Charles Misner şi John Archibald Wheeler.[1] L-am întâlnit pe Lane Hughston, un tânăr matematician american de la Oxford, care timp de o oră mi-a explicat noua şi revoluţionara teorie a twistorilor, după care m-a prezentat creatorului acesteia, Roger Penrose.

La una dintre conferinţe, mă aşezasem în intervalul dintre rânduri când un bărbat într- un scaun cu rotile a venit alături de mine. Stephen Hawking era deja faimos pentru lucrările sale asupra relativităţii generale, iar atunci era cu un an înainte de uimitoarea lui descoperire că găurile negre sunt fierbinţi. Un bărbat înalt cu barbă, cu maniere elegante, s-a oprit să discute cu el după care a fost chemat pe podium. Era Bryce DeWitt. Nu-mi aduc aminte despre ce a vorbit, dar auzisem despre el şi ecuaţiile sale care descriu universurile cuantice. Nu am avut curaj să vorbesc cu vreunul dintre ei, şi cu siguranţă nu mi-am imaginat că şapte ani mai târziu, după ce-mi voi fi terminat

doctoratul, aceşti doi giganţi ai fizicii modeme mă vor invita să lucrez împreună cu ei.

Bryce DeWitt, John Wheeler, Charles Misner şi Stephen Hawking se aflau pe atunci în plin proces de creare a unui nou domeniu: cosmologia cuantică. îmbinarea inventată de ei a relativităţii generale cu mecanica cuantică este piscul ascensiunii noastre către lumea atemporală a fizicii contemporane. în universul cuantic descris de ei, timpul nu doar că e redundant, el dispare cu desăvârşire. Cosmosul cuantic nu evoluează şi nu se schimbă, nu se extinde şi nu se contractă, el pur şi simplu este.

Subiectul acesta, trebuie subliniat, este un domeniu extrem de speculativ şi poetic al fizicii teoretice care deocamdată nu are nici o legătură solidă cu observaţia. Concluziilor care se pot trage din el le lipseşte autoritatea imaginii asupra naturii oferită de teoria relativităţii, care a triumfat experimental în repetate rânduri şi

continuă să ne surprindă cu acurateţea predicţiilor sale.

începem cu mecanica cuantică, care este un triumf al metodei de a face fizică într-o cutie. Va trebui să explic doar câteva lucruri esenţiale despre cum sunt modelate subsistemele universului în mecanica cuantică, spre a pregăti calea pentru o extrapolare în două etape a fizicii actuale. în primul rând, trebuie să unificăm mecanica cuantică cu relativitatea generală pentru a obţine o teorie cuantică a gravitaţiei. Există diferite abordări ale acestei unificări, dar deocamdată nici un experiment care să decidă între ele; se ştie însă destul despre cum ar putea fi formulată o asemenea teorie pentru a trece la etapa a doua, care e includerea întregului univers în teoria cuantică.

Vom vedea că rezultatul este o imagine atemporală a naturii.

Mecanica cuantică ne oferă o descriere foarte reuşită a sistemelor microscopice, cum ar fi atomii şi moleculele. Dar e derutantă. Ca

rezultat al încercărilor de a o înţelege, au fost inventate mai multe interpretări ale sale radical diferite. Acestea se deosebesc prin implicaţiile asupra timpului şi asupra posibilităţii teoriei cuantice de a fi aplicată întregului univers – ambele teme importante pentru discuţia noastră de aici.[2]

în opinia mea, cea mai bună cale de a explica mecanica cuantică e să începem prin a discuta despre rostul ştiinţei. Mulţi dintre noi cred că scopul ştiinţei e să descrie natura aşa cum este ea în realitate – să ofere o imagine a lumii despre care putem crede că ar fi adevărată chiar dacă noi nu am fi aici so vedem. Cei care concep ştiinţa în felul acesta vor fi dezamăgiţi de mecanica cuantică, fiindcă ea nu oferă nici o imagine despre ce se întâmplă într-un experiment individual.

Niels Bohr, unul dintre fondatorii teoriei cuantice, a susţinut că cei astfel dezamăgiţi aveau o idee greşită despre rostul ştiinţei. Problema nu este teoria, ci ce

aşteptăm noi de la o teorie. Bohr a proclamat că scopul unei teorii ştiinţifice nu e să descrie natura, ci să ne ofere reguli pentru manipularea obiectelor din lume şi un limbaj pe care să-l putem folosi pentru a comunica rezultatele.

Limbajul mecanicii cuantice presupune o intervenţie activă în natură, fiindcă el vorbeşte despre modul cum interoghează experimentatorul un sistem microscopic. El poate prepara sistemul aşa încât acesta să fie izolat şi pregătit pentru a fi studiat. îl poate transforma supunându-l unor diverse influenţe exterioare. După care îl poate măsura introducând dispozitive care citesc răspunsurile la întrebările pe care ar vrea să le pună sistemului. Limbajul matematic al mecanicii cuantice reprezintă fiecare pas din procesul preparării, transformării şi măsurării. Datorită accentului pus pe ceea ce facem unui sistem cuantic, aceasta poate fi numită o abordare operaţională a fizicii cuantice.

Obiectul matematic central în descrierea cuantică a unui sistem se numeşte *stare cuantică.* Ea conţine toată informaţia pe care un observator o poate avea despre un sistem cuantic ca urmare a preparării şi măsurării sale. Informaţia aceasta e limitată, şi în majoritatea cazurilor insuficientă pentru a prezice exact unde sunt particulele care alcătuiesc sistemul. în schimb, o stare cuantică oferă *probabilităţile* pentru locurile unde am putea găsi particulele dacă le-am măsura poziţiile.

Să considerăm un atom, constând dintr-un nucleu cu câţiva electroni în jurul său. Cea mai precisă descriere a atomului ar fi să spunem unde este fiecare electron. Fiecare aranjament al electronilor este o configuraţie, în schimb, cea mai bună descriere cuantică atribuie o probabilitate fiecărei configuraţii posibile a electronilor.[3]

Cum verificăm predicţiile unei teorii, dacă acele predicţii sunt doar probabilistice? Să ne gândim la predicţia că o monedă aruncată va

cădea avers în 50% din cazuri. Pentru a verifica aceasta, nu putem arunca doar o monedă o singură dată; rezultatul va fi avers sau revers, ambele consistente cu predicţia că fiecare apare în jumătate din cazuri. Trebuie să aruncăm moneda de multe ori şi să consemnăm proporţia aruncărilor care au ca rezultat avers. Pe măsură ce numărul aruncărilor creşte, proporţia aversurilor va tinde către 50%. La fel se întâmplă cu predicţiile probabilistice ale mecanicii cuantice: pentru a le confirma, experimentul trebuie repetat de multe ori.[4] A măsura un singur sistem cuantic este ca şi cum ai arunca moneda o singură dată: indiferent de rezultatul aleatoriu obţinut, acesta va fi compatibil cu aproape oricare predicţie a teoriei.

Metoda aceasta are sens numai dacă e aplicată unui sistem mic şi izolat, de exemplu un atom de hidrogen. Pentru a verifica predicţiile, avem nevoie de un număr mare de copii identice ale sistemului: dacă dispunem de una

singură, nu putem verifica predicţiile – fiindcă ele sunt probabilistice! Trebuie de asemenea să putem manipula acest ansamblu de sisteme, mai întâi preparându-le în starea cuantică ce ne interesează, iar apoi măsurând ceva în legătură cu ele. Dar dacă dispunem de multe copii ale unui sistem în lume, atunci fiecare copie trebuie să fie doar o mică parte din ceea ce există. Printre lucrurile care nu fac parte din sistem sunt instrumentele şi axele de coordonate pe care le folosim pentru a măsura configuraţiile sistemului.

Prin urmare aplicabilitatea mecanicii cuantice pare a fi limitată la sistemele izolate. Ea este o extensie a paradigmei newtoniene – a face fizică într-o cutie. Pentru a vedea cât de ferm se bazează metoda mecanicii cuantice pe studiul sistemelor izolate, să examinăm cum este descrisă schimbarea în timp.

Legile mecanicii newtoniene sunt deterministe, ceea ce înseamnă că

teoria oferă predicţii exacte asupra evoluţiei în timp a unui sistem. În mod similar, o lege a mecanicii cuantice ne spune cum evoluează în timp starea cuantică a unui sistem. Legea aceasta e de asemenea deterministă, în sensul că, fiind dată o stare cuantică iniţială, putem prezice exact care va fi starea cuantică la un moment ulterior.

Legea de evoluţie a stărilor cuantice se numeşte *ecuaţia Schrodinger.* Ea funcţionează la fel ca legile lui Newton, dar ne spune cum se modifică în timp stările, nu poziţiile particulelor. Dacă introducem o stare cuantică iniţială, ecuaţia Schrodinger ne va spune care va fi starea cuantică la orice moment ulterior.

La fel ca în cazul fizicii newtoniene, ceasul trebuie să fie în exteriorul sistemului, împreună cu observatorii şi instrumentele lor de măsură. Dar, deşi evoluţia stării cuantice e deterministă, implicaţiile pentru configuraţia exactă a atomilor sunt doar probabilistice – fiindcă legătura dintre starea

cuantică şi configuraţii este ea însăşi probabilistică.

Cerinţa ca ceasul care măsoară timpul în mecanica cuantică să fie în exteriorul sistemului are consecinţe grave dacă încercăm să aplicăm teoria cuantică întregului univers. Prin definiţie, nimic nu poate fi în afara universului, nici chiar un ceas. Deci cum se modifică starea cuantică a universului în raport cu un ceas din exteriorul lui? Deoarece un astfel de ceas nu există, singurul răspuns posibil este că ea nu se modifică în raport cu un ceas din exterior. Ca urmare, starea cuantică a universului, privită dintr-un punct de observaţie fictiv situat în afara lui, pare încremenită în timp.

Acesta e un argument verbal vădit alunecos care, s-ar părea, poate duce cu uşurinţă la concluzii eronate. Dar în cazul de faţă matematica vine în ajutor, oferindu-ne acelaşi rezultat ca atunci când aplicăm ecuaţia Schrbdinger la starea cuantică a universului: starea nu se modifică în timp.

în teoria cuantică, schimbarea în timp se leagă de energie. Aceasta e consecinţa unei trăsături fundamentale a fizicii cuantice numită dualitatea undă-particulă.

Newton considera că lumina e alcătuită din particule. Mai târziu, au fost studiate fenomenele de interferenţă şi difracţie, iar pentru explicarea lor s-a emis ipoteza că lumina este o undă. în 1905, Einstein a rezolvat dilema cu privire la natura luminii propunând că ea are deopotrivă aspecte de undă şi de particulă. Aproape două decenii mai târziu, Louis de Broglie a propus că această dualitate undă-particulă e universală: tot ce se mişcă are unele aspecte ondulatorii şi unele aspecte corpusculare.

Poate părea misterios. Este cu siguranţă imposibil să vizualizezi ceva care e atât undă, cât şi particulă, dar, aşa cum am remarcat, mecanica cuantică descrie fenomene care nu pot fi vizualizate. Putem să manipulăm particule cuantice în experimente şi să vorbim despre cum reacţionează

ele când sunt măsurate, dar nu putem să vizualizăm ce se petrece în absenţa acţiunii noastre asupra naturii.

Un aspect ondulatoriu al luminii este frecvenţa ei, numărul de oscilaţii pe secundă. Un aspect corpuscular al luminii este energia ei; fiecare particulă de lumină are o anumită cantitate de energie. în mecanica cuantică, energia din imaginea corpusculară este întotdeauna proporţională cu frecvenţa din imaginea ondulatorie.[5]

înarmaţi cu înţelegerea dualităţii undă- particulă, să ne întoarcem la starea cuantică a universului. Pentru că nu există nici un ceas în afara universului, starea lui cuantică nu se poate modifica în timp. Prin urmare frecventa sa de oscilaţie trebuie să fie zero - > > încremenit fiind, el nu poate oscila. Dar cum frecvenţa e proporţională cu energia, asta înseamnă că energia universului trebuie să fie zero.

Există o cantitate negativă de

energie captivă în orice sistem menţinut unit prin gravitaţie. Să considerăm sistemul solar. Dacă am vrea să smulgem planeta Venus de pe orbita sa în jurul Soarelui şi s-o expulzăm din sistemul solar, ar fi nevoie de energie. Din moment ce trebuie să furnizăm energie pentru a o aduce pe Venus într-o stare în care nu are energie, înseamnă că în timp ce se află pe orbită ea are o energie negativă. Această energie negativă se numeşte energie potenţială gravitaţională.

Universul poate avea energie totală zero dacă energia potenţială gravitaţională care menţine laolaltă părţile lui compensează exact energia pozitivă din univers, exprimată în masele şi mişcările întregii sale materii.

Având energie şi frecvenţă zero, starea cuantică a universului e încremenită. Universul cuantic nu se extinde şi nici nu se contractă. Nu e străbătut de unde gravitaţionale. Nu se formează galaxii, iar în jurul stelelor nu se rotesc planete. Universul cuantic

există şi atâta tot.[6]

Aceste consecinţe ale aplicării mecanicii cuantice la întregul univers au fost descoperite la jumătatea anilor 1960 de pionierii gravitaţiei cuantice: DeWitt, Wheeler şi Peter Bergmann. Modificarea ecuaţiei Schrodinger la care ne-am referit – cu condiţia că starea cuantică este încremenită – poartă numele a doi dintre ei, fiind cunoscută ca *ecuaţia Wheeler-DeWitt.*

Destul de repede, ei au observat dispariţia timpului şi oamenii au început să discute implicaţiile. Continuăm să discutăm. O dată la câţiva ani, cineva găzduieşte o conferinţă consacrată Problemei Timpului în Cosmologia Cuantică. Ingeniozitatea umană nu are limite, astfel încât au fost oferite o gamă largă de răspunsuri şi propuneri.

Starea de încremenire a universului nu e singurul neajuns dacă încercăm să aplicăm teoria cuantică la cosmologie.[7]

Există un singur univers, prin

urmare nu putem construi o populaţie de sisteme aflate în stări cuantice identice şi să comparăm măsurătorile efectuate asupra lor cu probabilităţile prezise de mecanica cuantică. Din capul locului, posibilităţile de a compara teoria cu experimentul sau cu observaţia se reduc drastic.

Lucrurile stau însă şi mai rău, fiindcă nu putem prepara universul într-o stare cuantică iniţială, necum să studiem consecinţele diferitelor alegeri ale stării iniţiale. Universul s-a întâmplat o singură dată şi a avut starea iniţială pe care a avut-o. Noi nu am fost acolo ca să-i alegem starea iniţială, şi chiar dacă am fi fost, nu am fi putut manipula universul, pentru că am fi făcut parte din el. însăşi ideea de a prepara universul într-o stare iniţială ne învesteşte cu statutul divin al unei existente în afara universului.

Tragediile cosmologiei cuantice alcătuiesc o listă formidabilă: Nu putem prepara starea iniţială a unui univers cuantic şi nu putem acţiona

asupra lui din exterior pentru a-l transforma. Nu avem acces la un ansamblu de universuri pentru a da semnificaţie probabilităţilor furnizate de formalismul cuantic. Pe deasupra, nu există un loc în afara universului unde să ne plasăm instrumentele de măsură. Prin urmare, nu se pune problema să măsurăm schimbarea cu un ceas exterior sistemului cuantic studiat.

Dintr-un punct de vedere operaţional, aplicarea mecanicii cuantice întregului univers a fost de la bun început o nebunie. Ea a dat greş pentru că am aplicat-o într-un context în care nici una dintre definiţiile operaţionale care definesc teoria nu are sens. Toate acestea decurg din eroarea de a extinde asupra întregului univers o metodă bine adaptată pentru mici părţi ale sale.

Problema este chiar un pic mai dificilă decât am menţionat aici, pentru că în relativitatea generală alegerea unei coordonate temporale este, aşa cum am văzut, complet arbitrară. Aşadar trebuie să ne

întrebăm: „Dacă *ar exista* un ceas în afara universului, cărei noţiuni de timp din interiorul universului i-ar corespunde acesta?” Şi: „Dacă *ar exista* o stare cuantică oscilantă, care ceasuri din univers ar înregistra-o ca pe o oscilaţie regulată?” Răspunsurile sunt: „Tuturor noţiunilor posibile de timp şi toate ceasurile posibile.” Drept urmare, nu există o singură ecuaţie Wheeler-DeWitt, ci o infinitate. Ele afirmă că frecventa cu care oscilează starea cuantică

*

este zero pentru toate noţiunile posibile de timp şi toate ceasurile posibile din interiorul universului. Pentru orice ceas posibil, purtat de orice observator posibil, în universul cuantic nu se întâmplă nimic.

Toate acestea au rămas speculaţii timp de două decenii, fiindcă nimeni nu a putut să rezolve efectiv ecuaţiile Wheeler-DeWitt. Până la inventarea abordării gravitaţiei cuantice numită gravitaţie cuantică cu bucle nu a existat un context în

care aceste ecuaţii să poată fi formulate cu suficientă precizie pentru a fi rezolvate. Această revoluţie a fost iniţiată de descoperirea de către Abhay Ashtekar a unei noi formulări a relativităţii generale în 1985.[8] Câteva luni mai târziu, am avut şansa să lucrez la Institutul pentru Fizică Teoretică (numit acum Institutul Kavli pentru Fizică Teoretică) din cadrul Universităţii din California, în Santa Barbara, împreună cu Ted Jacobson (în prezent la Universitatea din Maryland), şi am găsit primele soluţii exacte ale ecuaţiilor Wheeler-DeWitt – în fapt, o infinitate.[9] Mai erau şi alte ecuaţii care trebuiau rezolvate pentru a scrie o stare cuantică completă a câmpului gravitaţional, iar lucrul acesta l-a realizat doi ani mai târziu Carlo Rovelli, pe atunci la Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Universitatea din Roma.[10] Lucrurile progresau rapid şi un set mult mai mare de soluţii a fost descoperit de către Thomas Thiemann la Harvard,

la începutul anilor 1990.[11] De atunci au fost dezvoltate tehnici şi mai puternice pentru generarea soluţiilor, bazate pe ceea ce numim acum modele ale spumei de spin *[spin-fo am].*[12] Aceste rezultate fac şi mai urgentă rezolvarea problemei timpului într-un univers atemporal, pentru a da semnificaţie fizică tuturor acestor soluţii matematice ale unei *f* teorii cuantice a gravitaţiei.

Esenţa problemei este dacă se poate spune că timpul „emerge” din universul atemporal, astfel încât teoria să nu intre în contradicţie î flagrantă cu aspectele timpului pe care le vedem în lume. Unii dintre colegii mei sugerează că timpul face parte dintr-o descriere aproximativă a universului – o descriere care e utilă la scară mare, dar se dizolvă dacă privim prea îndeaproape. Aşa este temperatura: corpurile macroscopice au temperatură, dar particulele individuale nu au, pentru că temperatura unui corp este media energiilor atomilor care îl alcătuiesc. Unii fizicieni au propus ideea că timpul, la fel ca

temperatura, are sens numai în lumea macroscopică, dar nu e relevant la scara Planck. Alte abordări urmăresc să descopere timpul în corelaţiile dintre diferite subsisteme ale universului.

Am petrecut nenumărate ore reflectând asupra acestor abordări despre cum ar putea să apară timpul dintr-un univers atemporal, şi nu sunt deloc convins că vreuna dintre ele funcţionează. În unele cazuri motivele sunt tehnice, şi nu ar avea rost să le prezint aici. Motivele mai profunde ale scepticismului meu în privinţa cosmologiei cuantice vor face subiectul părţii a II-a.

Prietenii mei aflati în cealaltă tabără în această dezbatere susţin că presupunerile care conduc la ecuaţiile Wheeler-DeWitt implică numai principiile mecanicii cuantice şi ale relativităţii generale luate împreună. Dat fiind că principiile acestea sunt fiecare, în domeniile lor individuale, bine confirmate experimental, este înţelept ca mai întâi să luăm în serios toate

implicaţiile lor şi să încercăm să le înţelegem şi să le dezvoltăm.

Pe când eram unul dintre cercetătorii postdoctorali din echipa lui, Bryce DeWitt obişnuia să ne îndemne să nu impunem unei teorii prejudecăţile noastre metafizice, ci să lăsăm teoria să-şi dicteze propria sa interpretare. II mai aud şi acum sfătuindu-ne, cu vocea lui blândă, „lăsaţi teoria să vorbească”.

Dintre încercările de a înţelege cosmologia cuantică generată de ecuaţiile Wheeler-DeWitt, cea mai temeinic studiată a fost propusă de fizicianul, filozoful şi istoricul ştiinţei britanic Julian Barbour, care a descris-o în cartea sa din 1999, *The End of Time.* Ideea lui Barbour e radicală, dar nu e greu de explicat în cuvinte. El afirmă că, în esenţă, tot ce există este o vastă colecţie de momente încremenite. Fiecare moment are forma unei configuraţii a universului. Fiecare configuraţie există – şi este percepută de orice fiinţe prinse în acea configuraţie – ca un moment de timp. Barbour numeşte mulţimea tuturor

momentelor „mormanul [heup] de momente”. Momentele din morman nu se succedă, nu urmează unul după altul. Ele nu sunt ordonate în nici un fel. Ele sunt şi atâta tot. în imaginea metafizică a lui Barbour, nu există absolut nimic în afară de aceste momente pure de timp.

„Dar eu percep trecerea timpului”, aţi putea obiecta. Barbour spune că nu. Tot ce percepe oricare dintre noi, insistă el, sunt momente – instantanee de experienţă.

Pocneşte din degete – acesta a fost un instantaneu, un moment din morman. Pocneşte încă o dată din degete – acesta e un alt moment. Ai impresia că al doilea a urmat după primul, dar e o iluzie. Crezi astfel pentru că în al doilea moment ai o amintire a primului. Dar amintirea aceea nu este o *experienţă* a trecerii timpului (ceea ce Barbour spune că nu se întâmplă niciodată); atâta doar că amintirea primului moment face parte din experienţa celui de-al doilea. Tot ce percepem – şi tot ce este real, potrivit lui

Barbour – sunt momentele individuale din morman.

Există totuşi o urmă de structură în morman. Momentele pot fi reprezentate de mai multe ori. Putem vorbi atunci despre *frecvenţa relativă* a momentelor; un moment poate fi prezent de un miliard de ori mai mult decât un altul.

La aceste frecvente relative ale momentelor se referă probabilităţile date de starea cuantică. Două configuraţii au o probabilitate relativă să apară în morman, dată de probabilitatea lor relativă în starea cuantică.

Asta e tot. Există un singur univers cuantic, descris de o singură stare cuantică. Acel univers constă dintr-o mulţime foarte mare de momente. Unele apar în număr mai mare decât altele. Iar unele apar, într-adevăr, în număr incomparabil mai mare decât altele.

Unele dintre configuraţiile din morman care apar în număr mare sunt banale. Ele descriu un moment de timp într-un univers plin cu un

gaz de fotoni sau cu un gaz din atomi de hidrogen. Barbour susţine că, în starea cuantică actuală a universului, majoritatea acestor configuraţii banale au volum mic. De aici el prezice o corelaţie între a fi mic şi a fi banal. Dacă am presupune existenţa timpului, am spune că universul *a fost* banal atunci *când* a fost mic. Barbour afirmă că e suficient să spunem că a fi mic şi a fi banal sunt proprietăţi puternic corelate ale momentelor din morman.

Alte configuraţii din morman sunt interesante – pline de complexitate, cu fiinţe vii precum noi înşine, locuind pe planete rotindu-se în jurul unor stele care formează galaxii, care, la rândul lor, sunt dispuse în filamente şi roiuri. Barbour afirmă că în starea cuantică adecvată, proprietatea de a fi plin de complexitate şi viaţă e corelată cu un volum mare. Prin urmare multe, poate majoritatea configuraţiilor din morman care au volume mari vor conţine fiinţe vii.

> >

De asemenea, Barbour afirmă că, în starea cuantică adecvată, configuraţiile care apar în cel mai mare număr au structuri care se referă implicit la alte momente. Aceste referiri sunt ceea ce Barbour numeşte „capsule ale timpului”. Ele sunt amintiri, cărţi, artefacte, fosile, ADN etc. Ele spun o poveste deschisă interpretării în termenii unei succesiuni de momente în care lucrurile au decurs cumulativ, ducând la complexitate. Cu alte cuvinte, capsulele timpului susţin iluzia că timpul trece.

Potrivit teoriei lui Barbour, cauzalitatea e tot o iluzie. Nimic nu poate fi cauza nici unui alt lucru, pentru că în realitate nimic nu se întâmplă în univers. Există doar un vast maldăr de momente, dintre care unele sunt percepute de fiinţe precum noi înşine. în realitate, fiecare experienţă a fiecărui moment este doar atât — neconectată cu restul. Există momente, dar nu există nici o ordonare a lor, nici o trecere a timpului.

Dar ecuaţiile Wheeler-DeWitt permit apariţia unor noţiuni aproximative de ordine şi cauzalitate, astfel încât există corelaţii între momentele care apar în cel mai mare număr – corelaţii care dau impresia că ar exista o succesiune de momente în timp, între care procesele cauzale ar putea să opereze. Cu un grad înalt de aproximaţie, povestea unei succesiuni de momente poate fi utilă pentru a explica structurile care apar în momente. Dar nu este o poveste fundamentală, iar la o examinare suficient de atentă, nu există ordine şi nici cauzalitate, ci doar un morman de momente.

Teoria lui Barbour are trăsăturile sale elegante. Ea rezolvă în mod abil problema semnificaţiei probabilităţilor în cosmologia cuantică. Există un singur univers, dar el conţine multe momente. Probabilităţile cuantice sunt probabilităţi reale ale frecvenţelor relative pentru ca momentele să existe ca parte a realităţii. În măsura în care schema lui Barbour

funcţionează în detaliu, ea explică felul în care apare impresia că lumea are o istorie pe durata căreia procesele cauzale contribuie la construirea unor structuri complexe. Propunerea aceasta explică şi aparenta direcţionalitate a timpului: există o direcţie privilegiată în spaţiul configuraţiilor, dinspre configuraţiile cu volum mic către cele cu volum mai mare. Când apare timpul, creşterea volumului se corelează bine cu creşterea timpului, ceea ce explică de ce universul pare să aibă o săgeată a timpului.

Versiunea lui Barbour a cosmologiei cuantice atemporale oferă o consolare pentru faptul că suntem muritori. O pot simţi. Aş vrea s-o pot crede. Ne percepem pe noi înşine într-un ansamblu de momente. Potrivit lui Barbour, asta e tot. Momentele acelea există întotdeauna, veşnic. Trecutul nu s-a pierdut. Trecutul, prezentul şi viitorul ne însoţesc mereu. Poate că experienţa noastră figurează într-o

mulţime finită de momente, dar acele momente nu dispar şi nu încetează niciodată. Prin urmare, nimic nu se sfârşeşte când ajungem în ultima noastră zi. Atâta doar că *acum* percepem un moment care are toate amintirile pe care le vom avea vreodată. Dar nimic nu încetează, fiindcă nimic nu a început vreodată. Frica de moarte se întemeiază pe o iluzie, care, la rândul ei, se întemeiază pe o eroare intelectuală. Nu există o curgere a timpului care se termină, fiindcă timpul nu curge. Există întotdeauna, şi vor exista întotdeauna, doar momentele vieţii noastre.

Nu mă voi lansa în speculaţii privind ce ar fi gândit Einstein despre cosmologia cuantică atemporală a lui Julian Barbour. Dar există dovezi că îl mulţumea şi îl consola dispariţia timpului din imaginea universului-bloc. încă din adolescenţă, încercase să transceandă haotica lume umană prin contemplarea legilor atemporale ale naturii. Intr-o

scrisoare de consolare către văduva prietenului său Michele Besso, Einstein scria: „Acum el a plecat din lumea aceasta stranie cu puţin înaintea mea. Asta nu are nici o însemnătate. Oameni ca noi, care cred în fizică, ştiu că deosebirea dintre trecut, prezent şi viitor e doar o iluzie care persistă cu încăpăţânare.”

PARTEA AII-A LUMINA: TIMPUL RENĂSCUT

INTERLUDIU
Nemulţumirea lui Einstein
5

Universul-bloc din teoriile relativităţii ale lui Einstein a fost pasul decisiv în eliminarea timpului din fizică. Dar Einstein însuşi avea o atitudine ambiguă în privinţa dispariţiei timpului din perspectiva asupra naturii la a cărei edificare contribuise atât de mult. Am văzut că găsea consolare în imaginea universului-bloc a cosmosului atemporal – şi totuşi se pare că Einstein nu era mulţumit de implicaţiile acestuia. Ştim asta din *Autobiografia intelectuală* a filozofului vienez Rudolf Carnap, care a relatat o conversaţie cu Einstein asupra timpului:

> Einstein a spus odată că problema lui Acum îl îngrijora în mod serios. El a explicat că experienţa lui Acum înseamnă

ceva special pentru om, ceva esenţial diferit de trecut şi de viitor, dar că această deosebire importantă nu apare şi nu poate să apară în fizică. Faptul că ştiinţa nu poate să înţeleagă experienţa aceasta i se părea o resemnare dureroasă, dar inevitabilă.

Dacă Einstein era frământat de îndoieli, Carnap nu avea nici un dubiu în privinţa poziţiei sale:

Am remarcat că tot ce apare în mod obiectiv poate fi descris în ştiinţă; pe de o parte, succesiunea temporală a evenimentelor e descrisă în fizică; iar pe de altă parte, trăsăturile caracteristice ale experienţei omului asupra timpului, inclusiv atitudinea sa diferită fată de

i

trecut, prezent şi viitor, pot fi descrise şi (în principiu) explicate în psihologie.

Nu-mi pot imagina la ce se gândea Carnap. Nu cunosc nici o metodă

prin care ştiinţele psihologiei sau biologiei ar putea să explice experienţa noastră asupra timpului într-o lume atemporală.[1] Nici Einstein n-a fost mulţumit de răspunsul lui Carnap, potrivit chiar lui Carnap, care scrie: „Dar Einstein credea că aceste descrieri ştiinţifice nu pot cu nici un chip satisface nevoile noastre umane; că există ceva esenţial în privinţa lui Acum care e pur şi simplu în afara ştiinţei.”[2]

Nemulţumirea lui Einstein se reduce la o J
idee simplă. O teorie ştiinţifică, pentru a avea succes, trebuie să explice observaţiile noastre asupra naturii. Iar cea mai simplă observaţie pe care o facem este că natura e organizată în timp. Dacă ştiinţa trebuie să spună o poveste care să cuprindă şi să explice tot ce observăm în natură, aceasta nu ar trebui să includă experienţa noastră asupra lumii ca o curgere a momentelor? Faptul esenţial privind modul cum e structurată experienţa

nu este oare o parte a naturii pe care o teorie fundamentală a fizicii s-ar cuveni s-o încorporeze?

Tot ce percepem, fiecare gând, impresie, acţiune, intenţie, este parte a unui moment. Lumea ni se prezintă ca o serie de momente, în privinţa aceasta nu avem nici o opţiune. Nici o opţiune asupra momentului în care existăm acum, nici o opţiune dacă să mergem înainte sau înapoi în timp. Nici o opţiune de a sări înainte. Nici o opţiune asupra vitezei de curgere a momentelor. Sub acest aspect, timpul e complet diferit de spaţiu. Am putea obiecta spunând că, în mod asemănător, toate evenimentele au loc într-un anumit loc. Dar putem alege unde să ne deplasăm în spaţiu. Aceasta nu e o deosebire mică; ea modelează întreaga noastră experienţă.

Einstein şi Carnap sunt de acord într-o privinţă: faptul că percepem natura ca pe o serie de momente prezente nu face parte din perspectiva fizicienilor asupra naturii. Viitorul fizicii – şi, am putea

adăuga, fizica viitorului – se reduce la o alegere simplă. Suntem de acord cu Carnap că momentul prezent nu-şi are locul în ştiinţă, sau urmăm instinctul celei mai mari intuiţii ştiinţifice a secolului XX şi încercăm să găsim o cale către o nouă ştiinţă în care „resemnarea dureroasă” a lui Einstein nu va fi necesară?

Pentru Einstein, momentul prezent este real şi într-un fel sau altul trebuie să facă parte dintr-o descriere obiectivă a realităţii. El crede (potrivit lui Carnap) că *„există ceva esenţial în privinţa lui Acum care pur şi simplu se află în afara domeniului ştiinţei”.*

Au trecut peste şaizeci de ani de la acea conversaţie. De atunci am învăţat foarte î)
multe despre fizică şi cosmologie. Destul pentru a-l aduce pe Acum, în sfârşit, în descrierea naturii de către fizicieni. în această a doua parte a cărţii, voi explica de ce cunoaşterea noastră actuală necesită reintroducerea timpului ca un concept central în fizică.

în partea I, am schiţat nouă paşi

în eliminarea timpului din perspectiva
fizicienilor asupra naturii, începând cu descoperirile lui Galilei despre corpurile în cădere şi până la cosmologia cuantică atemporală a lui Julian Barbour. Curând vom vedea timpul renăscut, dar mai întâi trebuie să demontăm argumentele aparent solide prezentate în prima parte.

Cele nouă argumente se încadrează în trei categorii:

Argumente newtoniene (adică argumente care provin din fizica lui Newton, sau din paradigma lui Newton de a face fizică):

- încremenirea mişcării prin înregistrarea grafică a observaţiilor din trecut
- Inventarea spaţiului atemporal al configuraţiilor
- Paradigma newtoniană
- Argumentul în favoarea determinismului
- Reversibilitatea temporală

Argumente einsteiniene, provenite

din teoriile relativităţii restrânsă şi generală:

- Relativitatea simultaneităţii
- Imaginea universului-bloc a spaţiului- timp
- începutul timpului la big bang

Argumente cosmologice, provenite din extinderea fizicii asupra întregului univers:

- Cosmologia cuantică şi sfârşitul timpului Aceste nouă argumente duc la o viziune asupra naturii care neagă realitatea momentului prezent şi în schimb vorbeşte despre natură în termenii imaginii universului-bloc, în care reală este doar întreaga istorie a lumii luată în ansamblu. în imaginea aceasta, timpul e tratat ca o dimensiune a spaţiului, astfel încât cauzalitatea în timp poate fi înlocuită prin inferenţă logică atemporală. Poate că relativitatea generală şi mecanica newtoniană vorbesc despre istorii care evoluează în timp, dar este un timp în sens diluat, doar de ordine

matematică, privat de în-fiinţarea momentelor prezente. în teoriile acestea, timpul nu este real în sensul pe care l-am definit în prefaţă atunci când am afirmat că tot ce este real e astfel într-un moment de timp. Pentru a sublinia contrastul voi numi atemporale asemenea teorii.

Este eliminarea timpului preţul care trebuie plătit pentru progresul ştiinţei? Pasul următor în călătoria noastră e să dezvăluim deficienţele acestor argumente.

Toate cele nouă argumente sunt victimele aceleiaşi erori: că paradigma newtoniană – care presupune că putem prezice starea viitoare a oricărui sistem din condiţiile sale iniţiale şi din legile care acţionează asupra lui — poate fi extinsă pentru a alcătui o teorie a universului. Dar, aşa cum voi arăta de îndată, nici o extensie a paradigmei newtoniene nu poate să ofere o teorie acceptabilă a întregului univers. Deşi e o metodă eficientă atunci când este aplicată

fizicii într-o cutie, ea devine neputincioasă în confruntarea cu problemele cosmologice.

Cele mai puternice argumente pentru eliminarea timpului provin din teoria relativităţii. în capitolul 14 le vom demonta. Odată ce am demontat pledoaria pentru eliminarea timpului, vom examina ce au de câştigat fizica şi cosmologia din ipoteza că timpul este real.

8.Eroarea cosmologică

în partea I am urmat calea misticului, încercând să transcendem experienţa noastră limitată în timp şi să descoperim adevăruri eterne. în particular, am atribuit marele succes al fizicii utilizării unei metode, paradigma newtoniană. Am văzut că succesul acesta a avut un preţ: eliminarea timpului din perspectiva fizicienilor asupra naturii.

în partea a Il-a, vom vedea de ce preţul nu trebuie plătit, fiindcă încercarea de a aplica paradigma newtoniană universului în ansamblu e o sarcină imposibilă. Pentru a extinde ştiinţa la o înţelegere a întregului univers, avem nevoie de o teorie nouă, în care realitatea timpului să fie un element central.

Să ne întoarcem la începuturile ştiinţei, la cel care a fost numit primul om de ştiinţă, filozoful presocratic Anaximandru (610-546

î.Cr.). După cum se arată într-o carte recentă a lui Carlo Rovelli, Anaximandru a fost primul care a căutat cauzele fenomenelor naturale în natura însăşi, iar nu în voinţa capricioasă a zeilor.[1]

În acele vremuri, chiar şi oamenii cei mai inteligenţi se considerau locuitorii unui univers delimitat de două medii plate. Dedesubtul picioarelor se afla Pământul, întinzându-se de jur împrejur în toate direcţiile. Deasupra capului era cerul, întregul univers, aşa cum îl înţelegeau ei, era organizat de prezenţa unei direcţii speciale – în jos, direcţia în care cad lucrurile. Legea fundamentală a naturii, confirmată de întreaga lor experienţă, era că lucrurile cad în jos. Singura excepţie era cerul însuşi şi corpurile cereşti fixate acolo.

Când au încercat să extindă această lege de succes asupra universului (Pământul şi cerul), s-au confruntat cu un paradox: dacă tot ce nu e fixat de cer cade în jos, de ce nu cade şi Pământul? Cum

tendinţa de a cădea în jos e universală, Pământul trebuie să aibă ceva dedesubt pe care se sprijină – o asemenea propunere a fost că Pământul stă pe spatele unei ţestoase uriaşe. Dar atunci, pe ce se sprijină acea ţestoasă? Ar putea fi un şir infinit de „ţestoase până jos”?

Anaximandru şi-a dat seama că era nevoie de o revoluţie conceptuală pentru a alcătui o teorie valabilă a universului care să evite *reducţia ad absurdum* a unui turn infinit de ţestoase. El a propus o idee evidentă pentru noi, dar şocantă în vremea lui — că „în jos” nu este o direcţie universală, ci doar direcţia spre Pământ. Modul corect de a enunţa legea nu este că lucrurile cad în jos, ci că lucrurile cad spre Pământ. Aceasta va face posibilă o altă revoluţie – descoperirea că Pământul nu e plat, ci rotund. Anaximandru nu a făcut el însuşi pasul acesta ameţitor, dar redefinirea noţiunii de „jos” i-a permis să vadă Pământul ca pe un corp plutind în spaţiu. Astfel, el a putut propune ideea uimitoare că

cerul se extinde de jur împrejurul Pământului – dedesubtul picioarelor la fel ca deasupra capului.

Intuiţia aceasta a simplificat foarte mult cosmologia din acea vreme, întrucât faptul că Soarele, Luna şi stelele răsar la est şi apun la vest putea fi înţeles ca datorându-se unei rotatii zilnice a cerului. Nu mai era nevoie ca î
Soarele să fie recreat în fiecare dimineaţă la
est şi distrus în fiecare seară după ce apunea la vest; după apus, Soarele se întorcea în punctul său de pornire urmând un traseu aflat sub picioarele noastre. Imaginaţi-vă euforia de a înţelege lucrul acesta pentru prima oară! Dispărea astfel o mare sursă de anxietate pentru antici – că oricare ar fi spiritul responsabil pentru crearea Soarelui în fiecare dimineaţă, el ar putea să adoarmă sau să-şi părăsească postul. Revoluţia lui Anaximandru a fost poate mai mare decât cea a lui Copernic, pentru că redefinirea noţiunii de „jos” a eliminat necesitatea de a explica pe ce se sprijină Pământul.

Filozofii care au încercat să înţeleagă pe ce se sprijină Pământul au comis o eroare simplă – ei au luat o lege care se aplică local şi au aplicat-o întregului univers. Universul lor era Pământul şi cerul, al nostru este un cosmos vast plin cu galaxii, dar confuzia speculaţiei cosmologice actuale se datorează în mare parte aceleiaşi erori. Şi totuşi nimic nu pare mai firesc, căci dacă o lege e universală, de ce nu s-ar aplica universului? Rămâne o mare tentaţie să luăm o lege sau un principiu pe care îl putem aplica cu succes tuturor subsistemelor lumii şi să-l aplicăm întregului univers. A proceda astfel înseamnă a comite o eroare pe care o voi numi *eroarea cosmologică.*

Universul este o entitate calitativ diferită de oricare dintre părţile sale. El nu e pur şi simplu suma părţilor sale. în fizică, toate proprietăţile obiectelor din univers sunt înţelese în termenii relaţiilor sau
interacţiunilor cu alte obiecte. Dar universul

> este suma tuturor acelor relaţii, şi, ca atare, nu poate avea proprietăţi definite prin relaţii cu o altă entitate similară.

Aşadar, în universul lui Anaximandru Pământul e singurul lucru care nu cade, fiindcă este lucrul către care cad obiectele. în mod asemănător, universul nostru e singurul lucru care nu poate fi produs sau explicat de ceva exterior lui, fiindcă este suma tuturor cauzelor.

Dacă analogia dintre perioada prezentă şi ştiinţa greacă antică e oportună, din extinderea unor legi valabile la scară mică asupra întregului univers vor rezulta paradoxuri şi întrebări fără răspuns. Acestea într-adevăr există. Noi, în epoca noastră, suntem conduşi de credinţa în paradigma newtoniană la două întrebări simple, la care nici o teorie bazată pe acea paradigmă nu va fi vreodată capabilă să răspundă:

- *De ce legile acestea?* De ce universul este guvernat de un anumit set de legi? Ce a selectat

legile actuale din alte legi care ar fi putut guverna lumea?

- Universul începe la big bang cu un anumit set de condiţii iniţiale. *De ce aceste condiţii iniţiale?* Legile odată fixate, există un număr infinit de condiţii iniţiale cu care universul ar fi putut începe. Ce mecanism a selectat condiţiile iniţiale actuale din setul infinit de $_3$
posibilităţi?

Paradigma newtoniană nu poate nici măcar începe să răspundă la aceste două întrebări enorme, fiindcă legile şi condiţiile iniţiale sunt datele sale de intrare. Dacă fizica e formulată în contextul paradigmei newtoniene, aceste întrebări importante vor rămâne mistere pentru totdeauna.

Credeam că ştim cum se va răspunde la întrebarea De ce *legile acestea?.* Mulţi teoreticieni credeau că o singură teorie consistentă matematic poate să încorporeze cele patru forţe fundamentale ale naturii – electromagnetism, forţele

nucleare tare şi slabă şi gravitaţia – în teoria cuantică. în cazul acesta, răspunsul la întrebarea *De ce legile acestea?* ar fi fost că numai o singură lege posibilă a fizicii putea da naştere unei lumi aproximativ asemănătoare cu a noastră.

Dar speranţa aceasta s-a năruit. Avem acum dovezi temeinice că nu există o unică teorie care să încorporeze tot ce ştim despre natură – în esenţă, o teorie care să reconcilieze relativitatea generală şi mecanica cuantică. în ultimii treizeci de ani s-au făcut numeroase progrese în mai multe abordări diferite ale gravitaţiei cuantice, şi ele au dus la concluzia că în măsura în care fiecare reuşeşte, o face într-un mod care nu este deloc unic. Abordarea cea mai bine studiată este gravitaţia cuantică cu bucle, şi ea pare să permită o gamă largă de opţiuni pentru particule elementare şi forţe.-

Acelaşi lucru e valabil pentru teoria corzilor, care de asemenea promite o unificare a gravitaţiei cu teoria cuantică.- Sunt dovezi că

există un număr infinit de teorii ale corzilor, dintre care multe depind de un set considerabil de parametri – numere care pot fi ajustate empiric la orice valoare dorim. Toate aceste teorii par la fel de coerente matematic. Multe dintre ele descriu lumi cu un spectru al particulelor elementare şi al forţelor aproximativ asemănător cu a noastră, deşi, cel puţin până acum, nu a fost elaborată nici o teorie a corzilor care să includă cu precizie Modelul Standard al fizicii particulelor.

Speranţa iniţială a teoriei corzilor fusese că va exista o teorie fundamentală unică ce va reproduce exact Modelul Standard şi va oferi predicţii clare pentru observaţii dincolo de acesta. în 1986, Andrew Strominger a descoperit că teoria corzilor are un număr enorm de versiuni, ucigând această speranţă.[2] Asta m-a îndemnat să mă întreb cum şi-a selectat universul legile – iar în cele din urmă m-a determinat să accept realitatea timpului.

Atât despre întrebările fără

răspuns. Ce putem spune despre dileme?[3] întâmplarea face că una importantă se află în centrul noţiunii uzuale de lege a fizicii, aşa cum e exprimată de paradigma newtoniană. Atunci când numim ceva „lege”, înţelegem că se aplică în multe cazuri; dacă s-ar aplica într- un singur caz, ar fi doar o observaţie. Dar orice aplicare a unei legi la oricare parte a universului implică o aproximaţie, aşa cum am văzut în capitolul 4, fiindcă trebuie să neglijăm toate interacţiunile dintre acea parte şi restul universului. De aceea numeroasele aplicaţii ale unei legi a naturii care sunt verificabile sunt toate aproximaţii.

Pentru a aplica o lege a naturii fără aproximaţii, trebuie s-o aplicăm întregului univers. Dar există un singur univers, iar un singur caz nu oferă suficiente dovezi pentru a justifica afirmaţia că o anumită lege a naturii e valabilă. Aceasta s-ar putea numi dilema cosmologică.

Dilema cosmologică nu trebuie să ne împiedice să aplicăm legi ale

naturii – precum relativitatea generală sau legile mişcării ale lui Newton – unor subsisteme ale universului. Ele funcţionează în practic toate cazurile, şi de aceea le numim legi. Dar fiecare asemenea aplicare este o aproximaţie bazată pe ficţiunea de a trata un subsistem al universului ca şi cum ar fi tot ce există.[4] Ea nici nu ne împiedică să ne imaginăm că istoria universului nostru este o soluţie la o lege precum relativitatea generală, materia fiind descrisă de Modelul Standard. Dar ea nu explică de ce a fost aleasă acea soluţie ca singura care se realizează în natură. Iar o singură soluţie nu demonstrează că legile existente ale naturii sunt o combinaţie între relativitatea generală şi Modelul Standard, pentru că acea unică soluţie poate aproxima soluţiile multor legi diferite.[5]

Iată un exemplu care ilustrează de ce o lege trebuie să poată fi verificată în mai multe cazuri pentru a se distinge de simpla observaţie. O familie are un copil,

Mira, căreia îi place îngheţata. Preferata ei este îngheţata cu ciocolată – de fapt, prima îngheţată pe care a gustat-o vreodată a fost cu ciocolată, şi de atunci a rămas preferata ei.

Părinţii Mirei cred că există o lege generală că tuturor copiilor le place îngheţata. Dar fără să observe nici un alt copil, ei n-au nici o posibilitate să verifice legea asta, nici o posibilitate s-o distingă de observaţia lor, anume că Mirei îi place îngheţata. Tatăl Mirei mai crede şi într-o altă lege, anume că toţi copiii preferă îngheţata cu ciocolată. în timp ce părinţii se relaxează la un pahar după ce Mira s-a culcat, mama ei propune încă o ipoteză: toţi copiii preferă tipul de îngheţată pe care îl gustă prima oară.

Ambele posibilităţi sunt compatibile cu dovezile de care dispun. Ei fac diferite predicţii, care pot fi verificate discutând cu alţi părinţi pe terenul de joacă, aşadar ambele sunt legi posibile. Dar să presupunem că Mira e singurul

copil care există. Nu va exista nici o posibilitate de a verifica dacă ipotezele părinţilor ei sunt legi generale sau doar observaţii.

Părinţii Mirei ar putea susţine, pe baza biologiei umane, că copiilor le va plăcea tot ce e făcut din zahăr şi lapte, iar asta validează cel puţin una dintre predicţiile lor. Ei ar avea dreptate, dar raţionamentul lor foloseşte cunoştinţe dobândite din studierea multor oameni. Aici analogia încetează, pentru că în cosmologie există realmente un singur caz. într-un argument ştiinţific, nu se poate presupune că universul e un caz individual dintr-o clasă mai generală, pentru că nici o aserţiune despre caracteristicile acelei clase nu poate fi verificată.

Cerinţa ca legile care se aplică subsistemelor să fie aproximative este centrală pentru dilema cosmologică, aşa încât permiteţi-mi să abandonez îngheţata şi să dau un exemplu simplu, în acest sens, din fizică. Prima lege newtoniană a mişcării afirmă că toate particulele libere se mişcă în linie dreaptă. Ea a

fost verificată şi confirmată în numeroase cazuri. Dar fiecare test implică o aproximaţie, pentru că nici o particulă nu este cu adevărat liberă. Orice particulă din universul nostru simte o forţă gravitaţională din partea tuturor celorlalte. Dacă am vrea să verificăm legea exact, nu ar exista nici un caz căreia s-o aplicăm.

Prima lege a lui Newton poate fi, în cel mai bun caz, o aproximaţie a unei legi mai exacte. într-adevăr, ea aproximează legea a doua a lui Newton, care descrie cum e influenţată mişcarea unei particule de forţele care acţionează asupra ei. Iată însă ceva foarte interesant. Fiecare particulă din univers le atrage gravitaţional pe toate celelalte. Există, de asemenea, forţe între oricare două particule încărcate electric. O puzderie de forţe de care trebuie ţinut seama. Pentru a verifica dacă legea a doua a lui Newton este valabilă exact, ar trebui să însumăm mai mult de IO^{80} forţe pentru a prezice mişcarea unei singure particule din univers.

în practică, bineînţeles, nu procedăm astfel. Luăm în calcul doar una sau câteva forţe exercitate de corpurile din apropiere, şi le ignorăm pe toate celelalte. în cazul gravitaţiei, de exemplu, putem justifica neglijarea forţelor exercitate de corpurile îndepărtate deoarece influenţele lor sunt mai slabe. (Asta nu e atât de evident pe cât pare, fiindcă deşi forţele exercitate de particulele îndepărtate sunt mai slabe, mult mai multe sunt particulele îndepărtate decât cele apropiate.) Oricum, nimeni nu încearcă vreodată să verifice dacă legea a doua e *riguros* adevărată. Verificăm doar aproximaţii extreme ale sale.

O altă mare problemă cu extrapolarea noţiunii newtoniene de „lege” asupra întregului univers este că există un singur univers, dar o infinitate de opţiuni pentru condiţiile iniţiale. Acestea corespund unui număr infinit de soluţii ale ecuaţiilor unei

i)

presupuse legi cosmologice – soluţii

care descriu o mulţime infinită de universuri posibile. Dar există un singur univers real.

însuşi faptul că o lege are o infinitate de soluţii posibile care descriu o infinitate de istorii posibile ne obligă să conchidem că menirea ei este să fie aplicată unor subsisteme ale universului care, în natură, există într-un număr enorm de versiuni. Abundenţei naturii îi corespunde abundenţa soluţiilor. Prin urmare, atunci când aplicăm o lege unui mic subsistem al universului, libertatea de a preciza condiţiile iniţiale este o componentă necesară a succesului legii.

În mod similar, atunci când aplicăm o lege care are o infinitate de soluţii unui sistem unic, precum universul, lăsăm foarte multe lucruri neexplicate. Libertatea de a alege condiţiile iniţiale se transformă dintr-un avantaj într-un obstacol, fiindcă înseamnă că există întrebări esenţiale despre universul unic la care teoria (exprimată de acea lege) nu dă nici un răspuns. Acestea

includ orice trăsături ale universului care depind de condiţiile sale iniţiale.

Ce să credem despre toate celelalte istorii care sunt de asemenea soluţii ale presupusei legi cosmologice, dar pe care universul nu le urmează? De ce vasta extravaganţă a unei infinităţi de soluţii, dintre care cel mult una poate avea legătură cu natura?

Aceste consideraţii duc la o singură concluzie: greşim cu privire la ce înseamnă o lege a naturii la scară cosmologică. Din trei motive:

(1)Afirmaţia că o lege se aplică la o scară cosmologică implică o cantitate enormă de informaţii despre predicţii referitoare la cazuri inexistente – adică alte universuri. Asta sugerează că ceva mult mai slab decât o lege ar putea explica universul. Nu avem nevoie de o explicaţie atât de extravagantă încât să facă predicţii despre o infinitate de cazuri care nu apar niciodată. O explicaţie care să justifice numai

ce se întâmplă în realitate în singurul nostru univers ar fi de ajuns.

(2) Tipul obişnuit de lege nu poate să explice de ce soluţia care descrie universul nostru este cea pe care o vedem.

(3)Legea nu se poate autojustifica. Ea nu oferă nici un motiv care să explice de ce ea, şi nu o altă lege, este valabilă.

Prin urmare, o lege convenţională a naturii, aplicată universului, explică în acelaşi timp mult prea mult şi nici pe departe suficient.

Singura cale de a evita aceste dileme şi paradoxuri e să căutăm o metodologie care să depăşească paradigma newtoniană – o nouă paradigmă, aplicabilă fizicii la scara universului. Dacă nu cumva suntem mulţumiţi să lăsăm fizica să sfârşească în iraţionalitate şi misticism, metoda care a stat la baza succesului său de până acum trebuie înlocuită.

Dar toate argumentele pentru eliminarea timpului din fizică

expuse în partea I se bazau pe presupunerea că paradigma newtoniană poate fi extinsă asupra întregului univers. în caz contrar, acele argumente cad. Ele trebuie abandonate odată cu paradigma newtoniană, şi atunci devine posibil să credem că timpul este real.

Putem avea mai mult succes în elaborarea unei adevărate teorii cosmologice dacă acceptăm realitatea timpului? în capitolele următoare voi explica de ce răspunsul e afirmativ.

8. Pentru o prezentare a gravitaţiei cuantice cu bucle, vezi Carlo Rovelli, *Realitatea nu e ceea ce pare. Structura fundamentală a lucrurilor* (Humanitás, Bucureşti, 2022) (n. red.).

9. Pentru o prezentare a teoriei corzilor, vezi Brian Greene, *Universul elegant. Supercorzi, dimensiuni ascunse şi căutarea teoriei ultime* (Humanitás, Bucureşti, 2022). Pentru o interpretare a multitudinii soluţiilor din teoria corzilor, vezi Leonard Susskind, *Peisajul cosmic. Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent* (Humanitás, Bucureşti,

2017) (n. red.).

9.Provocarea cosmologică

Marile teorii ale fizicii secolului XX – relativitatea, teoria cuantică şi Modelul Standard – reprezintă cele mai înalte realizări ale ştiinţei fizice. Ele au expresii matematice frumoase din care rezultă predicţii exacte pentru experimente, care au fost confirmate în multe cazuri cu mare precizie. Eu însă tocmai am arătat că nimic pe linia acestor teorii nu poate servi drept teorie fundamentală. Aceasta e o afirmaţie îndrăzneaţă în lumina succesului lor.

Pentru a-mi susţine afirmaţia, pot indica o trăsătură comună tuturor teoriilor consacrate ale fizicii, şi care face dificilă extinderea lor asupra întregului univers: fiecare divide lumea în două părţi, una care se schimbă în timp şi o a doua presupusă fixă şi imuabilă. Prima parte e sistemul studiat, ale cărui

grade de libertate— se modifică în timp. A doua parte e restul universului; o putem numi fundalul.

Partea a doua nu poate fi descrisă explicit, dar e prezentă implicit în termenii care dau sens mişcării descrise în prima parte. O măsurare a distanţei se referă în mod implicit la punctele fixe şi riglele necesare pentru a măsura acea distanţă; specificarea timpului implică existenţa unui ceas exterior sistemului, care măsoară timpul.

Aşa cum am văzut în jocul cu mingea din capitolul 3, poziţia mingii capătă sens prin raportare la locul unde se află Danny. Mişcarea e definită folosind un ceas, care se presupune că ticăie în ritm constant. Atât Danny, cât şi ceasul sunt în exteriorul sistemului descris de spaţiul configuraţiilor şi se presupune că sunt statici. Fără aceste puncte de referinţă fixe, nu am şti cum să facem legătura între predicţiile teoriei şi datele experimentale.

Această divizare a lumii într-o parte dinamică şi una statică este o

ficţiune, dar una extrem de utilă când e vorba să descriem părţi mici ale universului. A doua parte, presupusă a fi statică, constă în realitate din alte entităti dinamice exterioare sistemului analizat. Ignorându-le dinamica şi evoluţia, creăm un cadru în care descoperim legi simple.

Pentru majoritatea teoriilor, cu excepţia relativităţii generale, fundalul fixat include geometria spaţiului şi a timpului. El include de asemenea selecţia legilor, fiindcă acestea se presupune că sunt neschimbătoare. Chiar şi relativitatea generală, care descrie o geometrie dinamică, presupune alte structuri fixe, precum topologia şi dimensiunea spaţiului.[1]

Această divizare a lumii – într-o parte dinamică şi un fundal care o înconjoară şi defineşte termenii în care o descriem – contribuie la genialitatea paradigmei newtoniene. Dar totodată ea face paradigma inadecvată pentru aplicarea la întregul univers.

Provocarea cu care ne

confruntăm atunci când extindem ştiinţa la o teorie asupra întregului univers este că nu poate exista o parte statică, fiindcă totul în univers se schimbă şi nu există nimic în afara lui – nimic care să poată servi drept fundal în raport cu care să măsurăm mişcarea restului. Inventarea unei modalităţi de a depăşi această barieră s-ar putea numi *provocarea cosmologică.*

Provocarea cosmologică ne cere să formulăm o teorie care poate fi aplicată în mod semnificativ întregului univers. Trebuie să fie o teorie în care fiecare actor dinamic e definit doar în termenii altor actori dinamici. O asemenea teorie nu are nevoie, şi nici loc pentru un fundal fixat; spunem despre asemenea teorii că sunt independente de fundal.[2]

Putem vedea acum că dilema cosmologică e încorporată în structura paradigmei newtoniene, deoarece înseşi trăsăturile responsabile pentru succesul la scări mai mici – inclusiv dependenţa de fundaluri fixate şi faptul că o

singură lege are o infinitate de soluţii – devin motivul eşecului paradigmei ca bază pentru o teorie cosmologică.

Avem şansa să trăim într-o vreme în care succesul fizicii a dus la primele încercări de a studia cosmologia în mod ştiinţific. Nu e surprinzător că un răspuns la dilema cosmologică este de a postula că universul nostru este unul dintr-o mulţime vastă, având în vedere că toate teoriile noastre pot fi aplicate doar unei părţi dintr-un sistem considerabil mai mare. În orice caz, aşa îmi explic eu atractivitatea diverselor scenarii de multivers.

Atunci când efectuăm un experiment în laborator, controlăm condiţiile iniţiale. Le variem pentru a testa ipoteze despre legi. Dar când e vorba de observaţiile cosmologice,
condiţiile iniţiale au fost stabilite în universul timpuriu, de aceea trebuie să facem ipoteze privind natura lor.

Astfel, pentru a explica rezultatul unei observaţii cosmologice folosind paradigma newtoniană, facem *două* ipoteze: presupunem care au fost condiţiile iniţiale *şi* ce legi au acţionat asupra lor. Aceasta ne pune într-o situaţie mult mai dificilă decât contextul obişnuit al fizicii într- o cutie, în care folosim controlul pe care îl avem asupra condiţiilor iniţiale pentru a testa ipoteze despre legi.

Faptul că trebuie să testăm simultan ipoteze asupra legilor şi a condiţiilor iniţiale reduce considerabil precizia fiecărui test în parte. Dacă facem o predicţie, iar observaţia o contrazice, sunt două moduri de a corecta teoria: putem modifica ipotezele cu privire la legi, sau pe cele cu privire la condiţiile iniţiale. Fiecare poate să afecteze rezultatele experimentului.

Apare astfel o nouă problemă, căci de unde ştim care din cele două ipoteze trebuie corectată? Dacă observaţia se referă la o mică parte a universului, precum o stea sau o galaxie, ne bazăm testarea legii pe

analiza unui număr mare de cazuri. Toate au fost supuse aceleiaşi legi, prin urmare orice deosebiri între ele trebuie puse în seama deosebirilor dintre condiţiile lor iniţiale. Dar)J în ce priveşte universul, nu putem distinge efectele schimbării ipotezelor asupra unei legi de efectele schimbării ipotezelor asupra condiţiilor iniţiale.

Uneori problema aceasta stânjeneşte cercetarea cosmologică. Un test important al teoriilor privind universul timpuriu constă în a explica tiparele observate în fondul cosmic de microunde [CMB, *Cosmic Microwave Background].* Acesta e o radiaţie rămasă din universul timpuriu care ne oferă un instantaneu al condiţiilor la aproximativ 400 000 de ani după big bang. O propunere mult studiată este inflaţia cosmologică, care postulează că foarte devreme în istoria sa universul a suferit o expansiune colosală şi rapidă. Aceasta a întins şi a atenuat trăsăturile sale iniţiale, oricare vor

fi fost ele, şi a dus la universul mare, relativ uniform, pe care îl observăm în prezent. Inflaţia prezice de asemenea tipare în CMB foarte asemănătoare cu ce se vede.

În urmă cu câţiva ani, observatorii au raportat dovezi despre o nouă trăsătură a fondului de microunde, non-gaussianitate, care nu e prezisă de teoria obişnuită a inflaţiei.[3] (Nu importă ce este non-gaussianitatea; pentru povestea aceasta trebuie să ştim doar că este un tipar care e posibil să fi fost observat în CMB şi despre care teoria standard a inflaţiei prezice că nu trebuie să apară.) Avem două opţiuni pentru a explica noua observaţie: putem să modificăm teoria sau putem să modificăm condiţiile iniţiale.

[3] Teoria inflaţiei se încadrează în paradigma newtoniană, prin urmare predicţiile sale depind de condiţiile iniţiale asupra cărora acţionează legile. La numai câteva zile după primul articol care a prezentat dovezi pentru non-gaussianitate, au apărut articole care încercau să

explice observaţia. Unele modificau legile, altele modificau condiţiile iniţiale. Ambele strategii au reuşit să prezică retroactiv pretinsele observaţii — de fapt, se ştia deja că oricare din strategii va funcţiona.[4] Cum se întâmplă de regulă la frontierele ştiinţei observaţionale, observaţiile ulterioare nu au confirmat anunţul iniţial. La data când) >
scriu aceste rânduri, încă nu ştim dacă există într-adevăr non-gaussianitate în CMB.[5]

Acesta e un exemplu de caz în care există două metode diferite de a ajusta o teorie conform datelor. Dacă considerăm că legile şi condiţiile iniţiale sunt descrise de anumiţi parametri, există două seturi distincte de valori ale parametrilor care se potrivesc cu datele observate. Observatorii numesc genul acesta de situaţie *degenerare.* De regulă, când avem de-a face cu o degenerare facem observaţii suplimentare pentru a determina care sunt valorile corecte. Dar în cazuri precum CMB, care este relicva unui eveniment

petrecut o singură dată, nu vom fi niciodată în stare să înlăturăm degenerarea. Date fiind mai ales limitele preciziei cu care putem măsura CMB, e posibil să nu putem distinge o explicaţie bazată pe modificarea legilor de una bazată pe modificarea condiţiilor iniţiale.[6] Dar fără capacitatea de a distinge rolul legilor de cel al condiţiilor iniţiale, paradigma newtoniană nu mai are puterea să explice cauzele fenomenelor fizice.

*

Suntem pregătiţi să răsturnăm aşteptările care au călăuzit fizica de pe vremea lui Newton şi până foarte recent. Cândva, credeam că teorii precum mecanica newtoniană sau mecanica cuantică sunt candidaţi pentru teorii fundamentale care – în caz de reuşită – ar fi oglinzi perfecte ale lumii naturale, în sensul că oricărui lucru adevărat legat de natură i-ar corespunde un fapt matematic adevărat legat de teorie.

însăşi structura paradigmei

newtoniene, bazată pe legi atemporale acţionând asupra unui spaţiu al configuraţiilor atemporal, s-a crezut că e esenţială pentru această oglindire. Eu sugerez că aspiraţia aceasta a fost o fantezie metafizică menită să ducă inevitabil la dilemele şi confuziile mai sus menţionate imediat ce s-a încercat aplicarea paradigmei la întregul univers. Poziţia aceasta presupune o reevaluare a statutului teoriilor din cadrul paradigmei newtoniene – de la candidaţi pentru teorii fundamentale la descrieri aproximative ale unor mici subsisteme ale universului. Este o reevaluare care a avut deja loc printre fizicieni şi constă din două schimbări de perspectivă înrudite:

(1) Toate teoriile cu care operăm, inclusiv Modelul Standard al fizicii particulelor şi relativitatea generală, sunt teorii aproximative, care se aplică unor trunchieri ale naturii ce includ numai o submulţime a gradelor de libertate din univers. Numim

teorie efectivă o astfel de teorie aproximativă.
(2)în toate experimentele şi observaţiile noastre care implică trunchieri ale naturii, înregistrăm valorile unei submulţimi a gradelor de libertate şi ignorăm restul, înregistrările rezultate sunt comparate cu predicţiile teoriilor efective.

Prin urmare, succesul de până acum al fizicii se bazează în întregime pe studiul unor trunchieri ale naturii, care sunt modelate de teorii efective. Arta de a face fizică la nivel experimental constă în proiectatea unor experimente pentru a izola şi a studia un mic număr de grade de libertate, ignorând restul universului. Metodologiile teoreticienilor urmăresc inventarea unor teorii efective care să modeleze trunchierile naturii studiate de experimentatori. Niciodată în istoria fizicii nu am fost în stare să comparăm predicţiile unui candidat la o teorie cu adevărat

fundamentală – prin care înţeleg o teorie ce nu poate fi considerată efectivă – cu experimentul.

Am să explic puţin mai în detaliu următoarele chestiuni:

Fizica experimentală e studiul unor trunchieri ale naturii.

Un subsistem al universului modelat ca şi cum ar fi singurul lucru din univers, neglijând tot ce se află în exteriorul lui, se numeşte *sistem izolat.* Dar nu trebuie să uităm că izolarea faţă de întreg nu este niciodată completă. Aşa cum am observat, în lumea reală există întotdeauna interacţiuni între orice subsistem definibil şi lucruri din exteriorul său. într-o măsură mai mare sau mai mică, subsistemele universului sunt întotdeauna ceea ce fizicienii numesc *sisteme deschise.* Acestea sunt sisteme mărginite care interactionează cu lucruri aflate dincolo de marginile lor. Aşadar, atunci când facem fizică într-o cutie, aproximăm un sistem deschis cu un sistem

izolat.

O mare parte din măiestria fizicii experimentale constă în a transforma sisteme deschise în sisteme (aproximativ) izolate. Niciodată nu putem face asta în mod perfect, în primul rând, măsurătorile efectuate asupra sistemului interferează cu acesta. (Aceasta e o mare problemă în interpretarea mecanicii cuantice; dar deocamdată să rămânem în lumea macroscopică.) Orice experiment este o luptă pentru a extrage datele dorite din prezenţa inevitabilă a zgomotului provenit din exteriorul sistemului imperfect izolat. Experimentatorii depun mari eforturi pentru a se convinge pe ei înşişi şi a-i convinge pe colegii lor că văd un semnal real care se detaşează de zgomot, şi facem tot posibilul pentru a reduce efectul acestuia din urmă.

Ecranăm experimentele de contaminarea cu vibraţii, câmpuri şi radiaţii din exterior. Pentru multe experimente e suficient, dar unele sunt atât de sensibile încât sunt

afectate de zgomotul produs de radiaţia cosmică ce loveşte detectorii. Pentru o bună izolare a laboratorului de razele cosmice, el poate fi amplasat într-o mină la câţiva kilometri sub pământ; este ceea ce facem pentru a detecta neutrinii solari. Aceasta reduce zgomotul de fond aleatoriu provenit de la alte radiaţii la valori admisibile, în vreme ce neutrinii continuă să pătrundă. Dar nu există nici o metodă practică de a izola un laborator faţă de neutrini. Detectorii de neutrini îngropaţi adânc în gheaţa de la Polul Sud înregistrează şi neutrini care au intrat pe la Polul Nord şi au traversat tot Pământul.

Chiar dacă am putea construi pereţi compacţi din plumb cu o grosime astronomică pentru a opri neutrinii, ceva tot ar pătrunde, şi anume gravitaţia. în principiu, nimic nu poate opri pătrunderea forţei gravitaţiei sau împiedica propagarea undelor gravitaţionale, prin urmare nimic nu poate fi perfect izolat. Am descoperit acest

important aspect în timpul studiilor mele doctorale. Voiam să modelez o cutie care conţinea unde gravitaţionale ce se reflectau de pereţi, dar modelele mele eşuau unul după altul, deoarece undele gravitaţionale treceau prin pereţi. Am încercat să măresc din ce în ce mai mult densitatea pereţilor cutiei, până în punctul când ar reflecta radiaţia gravitaţională, dar modelul a arătat că, înainte să se atingă acel punct, materialul din pereţi ar colapsa în găuri negre. După ce mi-am bătut capul o vreme cu problema asta, încercând diverse căi care s-o evite, mi-am dat seama până la urmă că obstacolul pe care nu-l puteam depăşi era el însuşi o descoperire mult mai interesantă decât cea pe care o vizam. Cu ceva eforturi suplimentare, am fost în măsură să arăt, pe baza a doar câteva presupuneri, că nici un perete nu poate ecrana undele gravitaţionale.[7] Indiferent din ce material e făcut, sau cât e de gros sau de dens. Pentru a ajunge la această concluzie, a trebuit să

presupun doar legile relativităţii generale, că energia conţinută în materie este pozitivă, iar sunetul nu se poate propaga mai repede decât lumina.

Aceasta înseamnă – nu doar în practică, dar şi în principiu – că în natură nu există nici un sistem care să fie izolat de orice influentă a restului universului. Concluzia

> [5] aceasta merită ridicată la rangul de principiu, pe care îl voi numi *principiul inexistenţei sistemelor izolate.*

Mai există şi un alt motiv pentru care modelul unui sistem deschis ca sistem izolat este întotdeauna o aproximaţie, anume că nu putem anticipa incursiuni distructive aleatorii. Putem măsura, anticipa şi contracara zgomotul. Dar lumea exterioară poate afecta mult mai drastic încercările noastre de a izola sistemul. Un avion s-ar putea prăbuşi peste clădirea care adăposteşte laboratorul, sau un cutremur ar putea s-o avarieze. Un asteroid ar putea ciocni Pământul. Un nor de materie întunecată ar putea să traverseze sistemul solar,

perturbând orbita Pământului şi aruncându-ne în Soare.[8] Sau poate că cineva va întrerupe alimentarea cu energie a laboratorului răsucind un comutator în subsol. Lista lucrurilor care s-ar putea întâmpla în universul acesta mare pentru a perturba un experiment în desfăşurare e practic infinită. Atunci când modelăm un experiment ca şi cum ar fi un sistem izolat, excludem toate aceste posibilităţi din modelul nostru.

Pentru a încorpora orice efect posibil asupra laboratorului din partea lumii exterioare este nevoie de un model al
întregului univers. Nu putem face fizică fără să excludem toate aceste posibilităţi din modelele şi calculele noastre. Dar excluderea lor înseamnă să ne bazăm fizica, din principiu, pe aproximaţii.

Teorii efective, dar aproximative.

Toate teoriile importante ale fizicii sunt modele ale trunchierilor naturii produse de experimentatori. Poate

că atunci când au fost inventate s-a crezut că sunt teorii fundamentale, dar cu trecerea timpului teoreticienii au ajuns să le interpreteze ca descrieri efective ale unui număr limitat de grade de libertate.

Fizica particulelor oferă un bun exemplu al rolului teoriilor efective. Experimentele de până acum au testat fizica fundamentală doar până la o anumită scară a lungimilor. în prezent aceasta este de aproximativ IO^{17} centimetri, testată de Marele Accelerator de Hadroni *[Large Hadron Collider]* de la CERN. Asta înseamnă că Modelul Standard al fizicii particulelor, care este în acord cu toate experimentele cunoscute până în prezent, trebuie considerat o aproximaţie (pe lângă faptul că nu are nimic de spus în privinţa gravitaţiei). El ignoră fenomenele deocamdată necunoscute ce ar putea să apară dacă am putea testa distanţe mai scurte.

în fizica cuantică există o relaţie inversă î

între scara lungimilor şi energie, datorită principiului de incertitudine. Pentru a sonda la o anumită scară a lungimilor, e nevoie de particule sau radiaţie având cel puţin o anumită energie. Pentru a coborî la distanţe mai mici, e nevoie de particule cu energie mai mare. Prin urmare, limita inferioară pe scara lungimilor la care am ajuns se bazează pe o limită superioară a energiilor proceselor pe care le-am observat. Dar întrucât energia şi masa sunt acelaşi lucru (potrivit relativităţii restrânse), asta înseamnă că dacă am sondat doar până la o anumită valoare a energiei, e posibil să ignorăm particule prea masive pentru a fi create în experimentele de ciocnire de până acum. Fenomenele lipsă ar putea include nu doar noi tipuri de particule elementare, ci şi forţe anterior necunoscute. Sau s-ar putea dovedi că principiile fundamentale ale mecanicii cuantice sunt greşite şi au nevoie de modificări pentru a descrie corect fenomene care se ascund la distanţe

mai mici şi energii mai mari.

Din cauza acestor probleme spunem că Modelul Standard e o teorie efectivă, compatibilă cu experimentul, dar demnă de încredere numai într-un anumit domeniu.

Noţiunea de teorie efectivă subminează unele idei perimate, de pildă platitudinea că simplitatea şi frumuseţea sunt semne distinctive ale adevărului.— Fiindcă nu ştim ce s-ar putea ascunde la energii mai înalte, multe ipoteze ale fizicii care depăşesc domeniul ei stabilit sunt coerente cu o teorie efectivă sau alta. Aceste teorii efective au o simplitate intrinsecă, deoarece trebuie să fie coerente cu modul cel mai simplu şi mai elegant în care pot fi extinse în domenii necunoscute. O mare parte din eleganţa relativităţii generale şi a Modelului Standard se explică dacă le înţelegem ca teorii efective. Frumuseţea lor e o consecinţă a faptului că sunt efective şi aproximative. Simplitatea şi frumuseţea, aşadar, nu sunt

semnele adevărului, ci ale unui model aproximativ, bine construit, al unui domeniu limitat al fenomenelor.[9]

Noţiunea de teorie efectivă reprezintă o maturizare profesională a teoriei particulelor elementare. Personalităţile noastre tinere şi romantice au visat că dispuneam de legile fundamentale ale naturii. După ce am lucrat cu Modelul Standard timp de câteva decenii, suntem acum mai încrezători că el este corect în domeniul limitat în care a fost testat, şi totodată mai puţin încrezători că poate fi extins în afara acelui domeniu. Oare aceasta nu seamănă foarte mult cu viata reală? Pe măsură ce îmbătrânim, devenim mai încrezători în privinţa lucrurilor pe care le cunoaştem cu adevărat, şi totodată ne recunoaştem mai lesne ignoranţa în privinţa celor necunoscute.

Poate părea dezamăgitor. Se presupune că scopul fizicii e să descopere legile fundamentale ale naturii. O teorie efectivă prin

definiţie nu este aşa ceva. Având o concepţie prea naivă asupra ştiinţei, ţi-ai putea închipui că o teorie nu poate fi în acord cu toate experimentele efectuate până acum, şi în acelaşi timp să fie considerată, în cel mai bun caz, doar o aproximaţie a adevărului. Conceptul de teorie efectivă e important, pentru că exprimă această distincţie subtilă.

El exemplifică de asemenea modul cum înţelegem progresul în fizica particulelor elementare. El ne spune că fizica e un proces de construire a unor teorii aproximative din ce în ce mai bune. Pe măsură ce împingem experimentele către lungimi mai mici şi energii mai mari, am putea descoperi fenomene noi, iar în cazul acesta vom avea nevoie de un model nou care să le includă. La fel ca Modelul Standard, acesta va fi o teorie efectivă, deşi una aplicabilă într-un domeniu mai larg.

Noţiunea de teorie efectivă presupune că progresul în fizică determină revoluţii care schimbă

complet baza conceptuală a modului cum înţelegem natura, păstrând în acelaşi timp succesele teoriilor anterioare. Fizica newtoniană poate fi considerată o teorie efectivă, aplicabilă unui domeniu în care vitezele sunt mult mai mici decât cea a luminii, iar efectele cuantice pot fi ignorate, în acel domeniu, ea rămâne la fel de eficientă ca întotdeauna.

Relativitatea generală este un alt exemplu de teorie care a fost cândva un candidat pentru o descriere fundamentală a naturii, dar acum e considerată o teorie efectivă. în primul rând, ea omite domeniul fenomenelor cuantice. Relativitatea generală este, în cel mai bun caz, o aproximaţie a unei teorii cuantice unificate a naturii, şi poate fi obţinută prin trunchierea acelei teorii mai fundamentale.

Probabil că şi mecanica cuantică este o aproximaţie a unei teorii „mai fundamentale”. Un indiciu în acest sens e faptul că ecuaţiile sunt liniare – ceea ce înseamnă că efectele sunt întotdeauna direct

proporţionale cu cauzele lor. în toate celelalte exemple în care o ecuaţie liniară este folosită în fizică, teoria respectivă apare ca o aproximaţie a unei teorii „mai fundamentale” (dar tot efectivă) care este neliniară (în sensul că efectele pot fi proporţionale cu o putere mai mare a cauzei), şi sunt toate şansele că acest lucru se va dovedi adevărat şi în cazul mecanicii cuantice.

Adevărul este că toate teoriile pe care le- am folosit până acum în fizică sunt teorii efective. O parte din preţul plătit pentru succesul lor a fost înţelegerea faptului că sunt doar aproximaţii – iată ce trebuie să ne pună pe gânduri.

Poate că încă mai nutrim ambiţia de a inventa o teorie fundamentală care să descrie natura fără aproximaţii. Deopotrivă logica şi istoria ne spun că asta e imposibil atâta vreme cât rămânem în cadrul paradigmei newtoniene. Prin urmare, oricât de admirabile ar fi fizica newtoniană, relativitatea generală, mecanica cuantică şi

Modelul Standard, ele nu pot constitui tiparul pentru o teorie cosmologică fundamentală.
Singura cale posibilă către o asemenea teorie este să acceptăm provocarea cosmologică şi să inventăm o teorie care nu e calchiată după paradigma newtoniană şi poate fi aplicată fără aproximaţii întregului univers.

---

10. Un grad de libertate al unui sistem fizic este o variabilă independentă care descrie starea sistemului (n. red.).

11. Pentru o amplă discuţie critică privind rolul frumuseţii în fizică, vezi Sabine Hossenfelder, *Rătăciţi printre formule. Cum îi derutează frumuseţea pe fizicieni* (Humanitás, Bucureşti, 2020) (n. red.).

10. Principii pentru o cosmologie nouă

începem acum căutarea unei teorii care poate fi cu adevărat o teorie a întregului univers. O asemenea teorie trebuie să evite dilema cosmologică, şi totodată să fie independentă de fundal – să nu presupună o divizare a lumii în două părţi, una conţinând variabile dinamice care evoluează, iar cealaltă structuri fixe care oferă fundalul ce dă semnificaţie părţilor în evoluţie. Orice lucru despre care teoria afirmă că face parte din realitate trebuie definit prin relaţiile sale cu restul realităţii, într-un mod care-l face să fie supus schimbării.

Ce trebuie să pretindem unei adevărate teorii cosmologice?

- *Orice nouă teorie trebuie să conţină ceea ce ştim deja despre univers.* Teoriile actuale – Modelul Standard al fizicii

particulelor, relativitatea generală şi mecanica cuantică – trebuie să rezulte ca aproximaţii ale teoriei cosmologice necunoscute ori de câte ori ne restrângem atenţia la dimensiuni şi durate mai mici decât ele ale cosmosului.

• *Noua teorie trebuie să fie ştiinţifică.* Explicaţiile autentice îşi dovedesc validitatea prin aceea că au nenumărate consecinţe neprevăzute. Nu poate fi vorba doar să punem lucrurile laolaltă fiindcă alcătuiesc o poveste frumoasă. O adevărată teorie trebuie să implice anumite predicţii testabile.

• *Noua teorie trebuie să răspundă la întrebarea „De ce legile acestea?”.* Ea trebuie să ne permită să înţelegem în profunzime cum şi de ce au fost alese acele particule elementare şi forţe descrise în Modelul Standard. în particular, ea trebuie să explice valorile speciale şi improbabile ale constantelor fundamentale care există în

universul nostru – parametrii, precum masele particulelor elementare şi tăriile diferitelor forţe, care sunt specificaţi de Modelul Standard.

• *Noua teorie trebuie să răspundă la întrebarea „De ce aceste condiţii iniţiale?”,* explicând de ce universul nostru are proprietăţi ce par neobişnuite în comparaţie cu alte universuri posibile care ar putea fi descrise de aceleaşi legi.

Acestea sunt cerinţe minimale. Dat fiind că vorbim despre o teorie a întregului univers, înţelepciunea colectivă a fizicii, conţinută în scrierile marilor gânditori care s-au străduit să inventeze teorii despre lumea naturală – Kepler, Galilei, Newton, Leibniz, Ernst Mach şi Einstein, între alţii – sugerează că mai putem formula câteva.[1] Iată cum interpretez eu ce ne-au învăţat aceşti înţelepţi:

Explicaţiile privind caracteristicile universului nostru pe care le oferă o asemenea teorie trebuie să depindă numai de lucruri

care există sau se petrec în interiorul universului. Nici un lanţ de explicaţii nu poate recurge la ceva exterior universului. De aceea avem nevoie de un *principiu de închidere explicativă [principie of explanatory closure].*

Pentru ca o teorie să fie ştiinţifică, nu e necesar ca ea să răspundă cu precizie la orice întrebare, dar trebuie să existe un mare număr de întrebări la care credem că am putea răspunde dacă am cunoaşte mai multe amănunte despre univers. *Principiul raţiunii suficiente* al lui Leibniz postulează că trebuie să existe un răspuns la orice întrebare rezonabilă de ce universul are o anumită caracteristică. Un test important al unei noi teorii ştiinţifice este dacă ea măreşte numărul întrebărilor la care putem răspunde. Progresul apare atunci când descoperim motive pentru aspecte ale universului pe care teoriile anterioare nu le-au explicat.

Principiul lui Leibniz are câteva consecinţe care impun restricţii

unei teorii cosmologice. Una este că nu trebuie să existe nimic în univers care să acţioneze asupra altor lucruri fără a suferi la rându-i nici o acţiune. Toate influentele sau forţele trebuie să fie reciproce. Putem numi aceasta *principiul inexistenţei acţiunilor fără reacţiune [principie of no unreciprocated actions].* Einstein a invocat acest principiu pentru a justifica înlocuirea teoriei newtoniene a gravitaţiei cu relativitatea generală. Argumentul lui era că spaţiul absolut al lui Newton indică corpurilor cum să se mişte, fără să existe vreo acţiune reciprocă; corpurile din univers nu influenţează spaţiul absolut. Spaţiul absolut există şi atât. în teoria relativităţii generale a lui Einstein, relaţia dintre materie şi geometrie este reciprocă: geometria spune materiei cum să se mişte, iar materia, la rândul ei, influenţează curbura spaţiului- timp. Tot astfel, nimic nu poate afecta curgerea timpului absolut al lui Newton.

Newton presupune că acesta curge la fel indiferent dacă universul e gol sau plin cu materie. în relativitatea generală, prezenţa materiei afectează comportamentul ceasurilor.

Prin urmare, acest principiu interzice orice referire la structuri de fundal imuabile – entităţi ale căror proprietăţi sunt fixate pentru totdeauna, indiferent de mişcarea materiei.

Aceste structuri de fundal sunt inconştientul fizicii, modelându-ne pe tăcute gândirea spre a conferi semnificaţie conceptelor fundamentale pe care le folosim pentru a ne imagina lumea. Credem că ştim ce înseamnă „poziţie” deoarece facem presupuneri inconştiente asupra existenţei unui referenţial absolut. Mai mulţi paşi fundamentali în evoluţia fizicii au constat în identificarea unei structuri de fundal fixe, eliminarea şi înlocuirea ei cu o cauză dinamică din interiorul universului. Este ceea ce

a făcut Ernst Mach când l-a combătut pe Newton sugerând că atunci când ne învârtim ameţim fiindcă ne mişcăm în raport cu materia din univers, iar nu cu spaţiul absolut.

Dacă insistăm asupra acţiunii reciproce şi excludem structurile de fundal fixe, susţinem de fapt că orice entitate din univers evoluează dinamic, în interacţiune cu tot restul. Aceasta e esenţa filozofiei relaţionalismului, atribuită îndeobşte lui Leibniz (să ne aducem aminte de discuţia din capitolul 3 despre semnificaţia „poziţiei”). Putem extinde această idee pentru a afirma că într-o teorie cosmologică toate proprietăţile trebuie să reflecte relaţii în evoluţie între entităti dinamice.—

Dar dacă proprietăţile unui corp – proprietăţile prin care îl identificăm şi îl distingem de alte corpuri – sunt relaţii cu alte corpuri, înseamnă că nu pot exista două corpuri care să aibă acelaşi set de relaţii cu restul universului. Două lucruri care au

aceleaşi relaţii cu tot restul universului trebuie să fie în fapt acelaşi lucru. Acesta e un alt principiu al lui Leibniz, numit *identitatea indiscernabilelor.* Şi el este o consecinţă a principiului raţiunii suficiente, căci dacă există două entităti distincte având aceleaşi relaţii cu restul lumii, nu există nici un motiv ca ele să nu poată fi schimbate între ele. Aceasta ar echivala cu un fapt despre lume fără nici o explicaţie raţională.

Prin urmare, în natură nu pot exista simetrii fundamentale. O simetrie este o transformare a unui sistem fizic care schimbă între ele părţile acestuia fără să modifice nici una dintre mărimile sale fizice observabile.[2] Un exemplu de simetrie în fizica newtoniană este translaţia unui subsistem dintr-un loc în spaţiu într-altul. Deoarece legile fizicii nu depind de poziţia în spaţiu a unui sistem, predicţiile sunt neschimbate dacă laboratorul – şi tot ce poate să afecteze rezultatele experimentale — e

deplasat cu şase metri spre stânga. Afirmăm independenţa rezultatelor experimentale de poziţia în spaţiu spunând că fizica e invariantă în raport cu translaţiile în spaţiu ale sistemelor.

Simetrii se întâlnesc în toate teoriile fizice cunoscute. Câteva dintre cele mai utile instrumente din trusa de scule a fizicianului profită de prezenţa lor. Dar dacă principiile lui Leibniz sunt corecte, aceste simetrii nu trebuie să fie fundamentale.

Simetriile apar fiindcă un subsistem al universului e tratat ca şi cum ar fi singurul lucru care există. Numai fiindcă ignorăm interacţiunile între restul universului şi atomii din laborator nu importă dacă deplasăm laboratorul în spaţiu. Aceasta explică şi de ce nu importă dacă rotim sistemul pe care-l studiem: fiindcă ignorăm interacţiunile dintre acel subsistem şi restul universului. Dacă luăm în considerare acele interacţiuni, cu siguranţă va conta dacă subsistemul este rotit.

Dar dacă universul însuşi e translatât sau rotit? Oare aceasta nu e o simetrie? Nu este, fiindcă nici o poziţie relativă din interiorul universului nu se modifică. Din perspectiva relaţională, translaţia sau rotaţia universului nu au nici o semnificaţie. Prin urmare simetriile, ca de pildă translaţiile şi rotaţiile, nu sunt fundamentale; ele apar din divizarea lumii în două părţi, aşa cum am arătat în capitolul precedent. Simetriile acestea şi altele sunt caracteristice doar unor legi aproximative care se aplică subsistemelor universului.

Aceasta are o consecinţă surprinzătoare: dacă aceste simetrii sunt aproximative, atunci la fel sunt şi legile de conservare a energiei, impulsului şi momentului cinetic. Aceste legi de conservare fundamentale depind de presupunerea că spaţiul şi timpul sunt simetrice în raport cu translaţiile în timp, translaţiile şi rotaţiile în spaţiu. Legătura dintre simetrii şi legile de conservare este

conţinutul unei teoreme fundamentale demonstrată la începutul secolului XX de matematiciană Emmy Noether.[3] Nu voi încerca aici să-i explic raţionamentele, dar teorema ei este unul dintre stâlpii de sprijin ai fizicii şi merită să fie mai bine cunoscută.

Ca urmare, teoria cosmologică necunoscută nu va avea simetrii şi nici legi de conservare.[4] Unii fizicieni din domeniul particulelor elementare, impresionaţi de succesul Modelului Standard, preferă să spună că, cu cât o teorie este „mai fundamentală”, cu atât trebuie să aibă mai multe simetrii. Este exact concluzia greşită.[5]

*

Ajungem acum la cea mai importantă întrebare despre teoria cosmologică necunoscută: ce va avea ea de spus cu privire la natura timpului? Timpul se va dizolva, ca în teoria relativităţii generale a lui Einstein? Va dispărea, apărând numai atunci când e nevoie, ca în cosmologia cuantică a lui Barbour?

Sau va juca un rol esenţial, spre deosebire de ce se întâmplă în toate teoriile de la Newton încoace?

Eu cred că timpul este necesar pentru orice teorie care răspunde la întrebarea „De ce legile acestea?”. Pentru ca legile să poată fi explicate, ele trebuie să evolueze. Aceasta a fost poziţia susţinută de Charles Sanders

Peirce, pe care l-am citat în introducere. Să examinăm din nou acel citat, spre a-i desluşi argumentaţia. El începe astfel: „A presupune legi universale ale naturii pe care mintea este capabilă să le înţeleagă, dar ale căror forme speciale nu au nici o motivaţie, ele rămânând inexplicabile şi iraţionale, este o poziţie greu de justificat.”

Putem înţelege aceasta ca un enunţ al principiului raţiunii suficiente al lui Leibniz: trebuie să fim în măsură să spunem de ce legile naturii sunt cele pe care le-am descoperit, şi nu altele. Peirce subliniază din nou aceasta în

următoarele două propoziţii: „Uniformităţile sunt tocmai genul de fapte care trebuie explicate. [...] Legea este prin excelentă lucrul care necesită un motiv.”

Aceasta este o formulare a întrebării „De ce legile acestea?”. Faptele cu privire la lume trebuie explicate, iar un fapt care are nevoie stringentă de explicaţie este de ce se observă că în universul nostru sunt valabile anumite

În continuare el afirmă că „singurul mod posibil de a explica legile naturii, şi uniformitatea în general, este să presupunem că ele sunt rezultatul evoluţiei”. Este o afirmaţie puternică. Peirce nu aduce nici un argument pentru concluzia sa că legile trebuie să evolueze; el pretinde doar că este „singurul mod posibil” de a răspunde la întrebarea „De ce legile acestea?”. Nu ştiu dacă undeva în voluminoasele sale scrieri şi carnete de notiţe el a oferit un argument pentru această concluzie. Iată însă unul pe care l-ar fi putut aduce.

Sarcina noastră este să explicăm de ce un obiect – în cazul de faţă, universul – are o anumită proprietate: anume, că particulele elementare şi forţele interacţionează prin procesele descrise în Modelul Standard al fizicii particulelor. Este o problemă dificilă, deoarece ştim că Modelul Standard, cu parametrii săi specifici, este doar una dintrun număr enorm de opţiuni posibile pentru legile naturii. Aşadar, cum explicăm de ce o entitate are o anumită proprietate dintr-o mulţime vastă de alternative posibile?

întrucât există numeroase alternative, nici un principiu nu specifică exact legile pe care le observăm. Dacă nu există nici un motiv necesar pentru alegere înseamnă că trebuie să fie un motiv fără necesitate logică. Poate că sunt, sau au fost, cazuri în care alegerea s-a făcut diferit. Cum explicăm felul în care s-a făcut alegerea în cazul universului nostru?

Dacă într-adevăr există doar un

singur caz, atunci niciodată nu vom avea o
explicaţie suficientă, pentru că, *ipso fado,* nici un principiu logic nu determină alegerea. O explicaţie suficientă necesită existenţa unor alte universuri înzestrate de la bun început cu legi. Altfel spus, trebuie să fi existat mai multe evenimente de tipul big bang-ului nostru în care au fost alese legi ale naturii. (Pentru simplitate, presupunem că legile sunt alese în evenimente spectaculoase precum big bang-ul; desigur, nu avem nici o dovadă că legile naturii s-ar fi schimbat de atunci.)

Se pune aşadar întrebarea cum sunt ordonate big bang-urile – evenimentele în care sunt alese legile. Putem invoca acum principiul că universul trebuie să fie închis din punct de vedere explicativ şi cauzal. Cu alte cuvinte, presupunem că universul conţine toate lanţurile cauzale necesare
pentru a explica orice în interiorul său. Dacă vrem să explicăm cum au

fost alese legile efective în big bang-ul nostru, putem invoca doar evenimente anterioare acestuia. Şi putem aplica aceeaşi logică la cauzele alegerii legilor în bang-uri anterioare.— Trebuie prin urmare să existe o succesiune de bang-uri extinzându-se infinit de departe în trecut. Să selectăm în mod arbitrar un punct de pornire cu multe bang-uri în urmă şi să urmărim alegerea legilor începând de atunci. Vom vedea că legile evoluează pe măsură ce ne apropiem de universul nostru actual. Ajungem prin urmare la concluzia lui Peirce că, dacă sperăm să explicăm anumite legi, ele trebuie să fi evoluat.[6]

Bang-urile pot fi exclusiv secvenţiale sau se pot ramifica – în viitor, în trecut sau în ambele. Putem construi diferite ipoteze cu privire la ramificaţii şi la ce anume se întâmplă în aceste evenimente încât modifică legile naturii. În toate aceste cazuri, vom explica alegerea legilor în cel mai recent big bang doar în termenii evenimentelor din trecutul său

cauzal. Un scenariu de felul acesta ar putea fi testat experimental; evenimentele dinaintea big bang-ului nostru ar putea fi observabile prin intermediul informaţiei din rămăşiţele (dacă există) care au supravieţuit naşterii universului nostru. în capitolele 11 şi 18 vom vedea exemple de predicţii făcute cu ajutorul unor teorii care permit ca legile naturii să evolueze înainte de big bang-ul nostru.

Dacă însă big bang-ul nu are trecut, alegerea legilor şi a condiţiilor iniţiale este arbitrară şi nu vor exista astfel de teste. Nu vor putea fi testate nici scenariile în care există o populaţie vastă sau infinită de universuri ale căror big bang-uri sunt deconectate cauzal de al nostru. într-o cosmologie ştiinţifică, postularea unor *universuri paralele,* universuri care nu sunt conectate cauzal cu al nostru, nu ne poate ajuta să explicăm nici o proprietate a propriului nostru univers. Conchidem că singura posibilitate de a avea o teorie cosmologică

ştiinţifică, în stare să facă predicţii falsificabile, este ca legile să fi evoluat în timp. (O predicţie a unei teorii este falsficabilă dacă poate fi contrazisă printr-un experiment realizabil.—)

Roberto Mangabeira Unger se exprimă într-un mod mai elegant.[7] Timpul sau este real, sau nu este real. Dacă timpul nu este real, legile sunt atemporale — dar atunci alegerea legilor e inexplicabilă, din motive pe care deja le-am discutat. Dacă, pe de altă parte, timpul este într-adevăr real, atunci nimic, nici măcar legile, nu poate dura veşnic. Dacă legile naturii acţionează veşnic, suntem în paradigma newtoniană, şi le-am putea folosi pentru a reduce orice proprietate a lumii de la un moment ulterior la o proprietate de la un moment anterior. Sau, echivalent, am putea înlocui orice cauzalitate fizică printr-o implicaţie logică. Aşadar, dacă timpul este real înseamnă că legile nu sunt veşnice. Ele trebuie să evolueze. Noţiunea de legi atemporale violează de asemenea

principiul relaţional potrivit căruia nimic în univers nu acţionează fără a suferi o reacţiune. Dacă vrem să exceptăm legile naturii de la acest principiu, considerându-le ceva exterior universului, atunci le plasăm în afara domeniului explicaţiei raţionale. Pentru a face legile explicabile, trebuie să le considerăm parte a lumii în aceeaşi măsură ca particulele asupra cărora acţionează. Aceasta le aduce în orizontul schimbării şi al cauzalităţii. Ele devin explicabile numai dacă participă la dansul schimbării şi al influenţelor reciproce care face ca lumea să fie un întreg.

Deşi nu avem încă o asemenea teorie cosmologică, dacă principiile pe care le-am expus sunt valabile, atunci deja ştim câte ceva despre ea:

- Trebuie să conţină ceea ce ştim deja despre natură, dar ca aproximaţii.
- Trebuie să fie ştiinţifică; altfel spus, trebuie să facă predicţii ce

pot fi testate prin experimente realizabile.

- Trebuie să rezolve problema „De ce legile acestea?”.
- Trebuie să rezolve problema condiţiilor iniţiale.
- Nu va postula simetrii, şi nici legi de conservare.[5]
- Trebuie să fie închisă din punct de vedere cauzal şi explicativ. Nimic din afara universului nu trebuie să fie necesar pentru a explica ceva din interiorul său.
- Trebuie să satisfacă principiul raţiunii suficiente, principiul inexistenţei acţiunilor fără reacţiune şi principiul identităţii indiscernabilelor.
- Variabilele sale fizice trebuie să descrie relaţii în evoluţie între entităti dinamice. Nu trebuie să existe structuri de fundal fixe, inclusiv legi fixe ale naturii. Prin urmare, legile naturii evoluează, ceea ce presupune că timpul este real.

Principiile sunt foarte bune, dar avem cu adevărat nevoie de ipoteze

conducând la teorii care fac predicţii testabile. în următoarele câteva capitole voi prezenta câteva exemple de ipoteze şi teorii care satisfac aceste principii, şi vom vedea că ele fac într-adevăr ipoteze testabile.

---

12. Pentru o discuţie despre relaţionism (interpretarea relaţională a mecanicii cuantice), vezi Carlo Rovelli, *Helgoland. Cum să înţelegem teoria cuantică* (Humanitás, Bucureşti, 2020) (n. red.).

13. Bang („bubuitură” în engl.) desemnează aici evenimente de tipul big bang-ului, pentru a le deosebi de big bang-ul din universul nostru (n. red.).

14. Conform filozofului Kari Popper, o teorie ştiinţifică nu e verificabilă, pentru că enunţurile ei, universale fiind, nu pot fi verificate în toate situaţiile posibile. Condiţia ca o teorie să poată accede la statutul de teorie ştiinţifică este aceea de a fi testabilă, adică de a conduce la afirmaţii falsificabile. O teorie care nu-şi asumă riscul de a fi infirmată nu-i o teorie ştiinţifică (n. red.).

11. Evoluţia legilor

Principalul mesaj al părţii a Il-a până acum a fost că progresul cosmologiei presupune ca fizica să abandoneze ideea că legile sunt atemporale şi eterne, şi să accepte în schimb că ele evoluează într-un timp real. Tranziţia aceasta e necesară pentru a putea ajunge la o teorie cosmologică – una care explică alegerea legilor şi a condiţiilor iniţiale – care să fie te stabilă şi chiar vulnerabilă la falsificarea prin experimente realizabile. După ce (sper) am argumentat lucrul acesta în principiu, în capitolul de faţă îl voi demonstra comparând capacitatea a două teorii, una atemporală şi una cu legi care evoluează în timp, de a explica şi prezice rezultate observationale.

Teoria în care legile evoluează se numeşte *selecţia naturală cosmologică,* pe care am elaborat-o

la finele anilor 1980 şi am publicat-o în 1992.[1] în acel articol am făcut câteva predicţii, ce puteau fi infirmate în cele două decenii scurse de atunci, dar nu au fost. Desigur, asta nu dovedeşte că teoria e corectă, dar cel puţin am arătat că o teorie cu legi care evoluează în timp poate să explice şi să prezică trăsături reale ale lumii noastre. Ca exemplu de teorie atemporală voi lua o versiune a scenariului multivers numită *inflaţie eternă,* propusă la sfârşitul anilor 1980 de Alexander Vilenkin şi Andrei Linde, şi care de atunci a făcut obiectul a numeroase studii.[2] Inflaţia eternă are diferite variante, reflectând faptul că unele dintre ipotezele sale sunt ajustabile. Pentru a-mi demonstra teza, am ales o variantă simplă căreia adjectivul „etern” i se potriveşte cel mai bine, întrucât ea oferă o imagine atemporală a multiversului. Există alte versiuni de multiversuri inflationäre în care timpul joacă un rol mai important, iar în măsura în care implică o noţiune autentică de

legi în evoluţie, ele împărtăşesc unele aspecte ale selecţiei naturale cosmologice.

Un motiv pentru care scenariile cosmologice cu legi în evoluţie reuşesc să facă predicţii reale este că ele nu se bazează pe *principiul antropic* – care afirmă că putem trăi numai într-un univers ale cărui legi şi condiţii iniţiale creează un mediu prielnic vieţii – pentru a face legătura între multivers şi universul pe care-l observăm. Una dintre sarcinile acestui capitol e să respingă afirmaţia că principiul antropic poate juca un rol în a face ca o teorie să fie predictivă.

Selecţia naturală cosmologică a fost subiectul primei mele cărţi, *The Life of the Cosmos,* de aceea o voi prezenta doar cu detaliile necesare pentru a arăta clar de ce evoluţia în timp a legilor duce la o explicaţie falsificabilă a lor.[3]

Ipoteza de bază a selecţiei naturale cosmologice este că universurile se reproduc prin crearea de noi universuri în interiorul găurilor negre. Aşadar,

universul nostru e descendentul unui alt univers, fiind născut într-una dintre găurile negre ale acestuia, iar fiecare gaură neagră din universul nostru e germenele unui nou univers. Acesta e un scenariu în cadrul căruia putem aplica principiile selecţiei naturale.

Mecanismul selecţiei naturale pe care-l folosesc se bazează pe metodele biologiei populaţiilor, care servesc pentru a explica în ce fel pot fi selectaţi unii parametri care guvernează un sistem pentru a-l face mai complex decât ar fi altminteri. Aplicarea selecţiei naturale la un sistem pentru explicarea complexităţii sale necesită următoarele:

- *Un spaţiu pentru parametrii variabili ai unei populaţii.* în biologie, parametrii aceştia sunt genele. în fizică, sunt constantele Modelului Standard, între care masele diferitelor particule elementare şi tăriile forţelor fundamentale. Parametrii aceştia formează un fel de spaţiu al configuraţiilor pentru legile

naturii – spaţiu numit *peisajul teoriilor [landscape of theories]* (termen împrumutat din biologia populaţiilor, unde spaţiul genelor se numeşte *peisajul adaptiv [fitness landscape]).*

• *Un mecanism de reproducere.* Adopt o veche idee care mi-a fost propusă de mentorul meu postdoctoral Bryce DeWitt, anume că găurile negre duc la naşterea unor noi universuri. Aceasta e o consecinţă a ipotezei că gravitaţia cuantică elimină singularităţile unde timpul începe şi se termină — ipoteză pentru care există dovezi teoretice solide. Universul nostru are o mulţime de găuri negre, cel puţin un miliard de miliarde, ceea ce sugerează o descendentă foarte numeroasă. Putem presupune că universul nostru face el însuşi parte dintr-o genealogie care se extinde departe în trecut.

• *Variaţie.* Selecţia naturală funcţionează în parte pentru că genele suferă

mutaţii sau se recombină la întâmplare în timpul reproducerii, astfel încât genomurile urmaşilor diferă de ale ambilor părinţi. în mod analog, putem presupune că, de fiecare dată când este creat un nou univers, există o mică schimbare aleatorie în parametrii legilor. Putem deci să marcăm în peisaj punctul care corespunde valorilor parametrilor pentru acel univers. Rezultatul e o colecţie vastă şi în creştere de puncte din peisaj, reprezentând variaţii ale parametrilor legilor pe cuprinsul multiversului.

• *Diferenţe în valoarea selectivă [fitness].* în biologia populaţiilor, valoarea selectivă a unui individ e o măsură a succesului său reproductiv – altfel spus, câţi urmaşi produce care prosperă un timp suficient pentru a avea propriii lor descendenţi. Valoarea selectivă a unui univers este atunci o măsură a numărului de găuri negre pe care le zămisleşte. Se dovedeşte că numărul acesta depinde în mod critic de

parametri. Nu e uşor să creezi o gaură neagră; prin urmare, mulţi parametri duc la universuri care nu au deloc găuri negre. Unii parametri duc la universuri care au o mulţime de găuri negre. Aceste universuri ocupă o regiune foarte mică în spaţiul parametrilor. Vom presupune că regiunile acestea extrem de fertile din spaţiul parametrilor sunt insule înconjurate de regiuni cu o fertilitate mult mai redusă.

- *Caracter tipic.* Presupunem de asemenea că universul nostru e un membru tipic al populaţiei de universuri, aşa cum este ea după multe generaţii. Putem aşadar prezice că toate proprietăţile comune majorităţii universurilor sunt şi proprietăţile universului nostru.[4]

Puterea selecţiei naturale ca metodologie permite extragerea unor concluzii ferme din aceste presupuneri minimale. Consecinţa fundamentală este că după multe generaţii majoritatea universurilor

au parametri în regiunile extrem de fertile. Reiese de aici că, dacă modificăm parametrii unui univers tipic, rezultatul va fi foarte probabil un univers care formează mult mai puţine găuri negre. întrucât universul nostru este tipic, acest lucru trebuie să fie adevărat şi pentru el.

Aceasta e o predicţie care poate fi verificată indirect. Ştim deja că multe moduri de a schimba parametrii Modelului Standard duc la universuri lipsite de stelele longevive necesare pentru a produce carbon şi oxigen. Şi, fapt remarcabil, e nevoie de carbon şi oxigen pentru a răci norii de gaz în care se formează stelele masive ce dau naştere găurilor negre. Alte schimbări ale parametrilor slăbesc supernovele care nu doar că produc găuri negre, dar injectează energie în mediul interstelar – energie care determină colapsul norilor şi formarea de noi stele masive. Cunoaştem deja cel puţin opt moduri de a modifica uşor parametrii Modelului Standard

încât să rezulte universuri cu mai puţine găuri negre.[5]

Selecţia naturală cosmologică oferă aşadar o explicaţie veritabilă pentru faptul că parametrii Modelului Standard par a fi reglaţi pentru un univers plin cu stele longevive care de-a lungul timpului au îmbogăţit universul cu carbon, oxigen şi alte elemente necesare complexităţii chimice cu care e binecuvântat universul nostru. Parametrii ale căror valori sunt astfel explicate într-o mai mare sau mai mică măsură includ masele protonului, neutronului, electronului şi neutrinului electronic, şi tăriile celor patru forţe. Există şi o bonificaţie: deşi explicaţia vizează maximizarea producţiei de găuri negre, o consecinţă este că face ca universul să fie prielnic vieţii.

în plus, ipoteza selecţiei naturale cosmologice face câteva predicţii originale, care sunt falsificabile prin observaţii realizabile în prezent. Una este că masa stelelor neutronice nu poate depăşi o

anumită limită. Ideea aici este că o supernovă lasă în urmă regiunea centrală a stelei explodate. Miezul acesta va colapsa fie într-o stea neutronică, fie într-o gaură neagră. Care din cele două e produsă depinde de masa miezului; o stea neutronică poate exista numai dacă masa ei este inferioară unei anumite valori critice. Dacă selecţia naturală i cosmologică e corectă, acea valoare critică trebuie reglată cât mai jos posibil, deoarece cu cât e mai joasă, cu atât sunt produse mai multe găuri negre.

Se dovedeşte că există mai multe posibilităţi pentru compoziţia stelelor neutronice. O posibilitate e să fie alcătuită doar din neutroni, caz în care masa critică ar fi destul de mare, între 2,5 şi 2,9 ori masa Soarelui. Dar altă posibilitate este ca miezul unei stele neutronice să conţină particule exotice numite kaoni. Aceasta ar reduce masa critică în comparaţie cu modelul exclusiv neutronic. Valoarea acelei reduceri depinde însă de amănuntele modelării teoretice; diversele modele indică o masă

critică undeva între 1,6 şi 2 mase solare.

Dacă selecţia naturală cosmologică e corectă, ne-am aştepta ca natura să fi profitat de posibilitatea de a forma kaoni în centrul stelelor neutronice pentru a reduce masa critică. Se dovedeşte că aceasta s-ar fi putut realiza reglând masa kaonului la o valoare suficient de mică; asta se poate face fără a afecta ratele de formare a stelelor, prin ajustarea masei cuarcului strânge. Când selecţia naturală cosmologică a fost propusă pentru prima oară, cele mai masive stele neutronice cunoscute aveau mase mai mici decât 1,5 mase solare. Dar de curând a fost observată o stea neutronică cu o masă de aproape două ori mai mare decât a Soarelui. Aceasta ar infirma selecţia naturală cosmologică, dacă masa stelelor neutronice cu kaoni este la limita inferioară a intervalului teoretic, dar teoria ar corespunde *in extremis* dacă răspunsul corect e estimarea teoretică superioară, care de

asemenea este dublul masei Soarelui.

Există totuşi o stea neutronică măsurată cu mai puţină precizie, şi a cărei masă e estimată a fi de nu mai puţin de două ori şi jumătate mai mare decât cea a Soarelui.[6] Dacă acea descoperire va fi confirmată de măsurători mai precise, selecţia naturală cosmologică va fi infirmată.[7]

O altă predicţie provine din reflecţia asupra unei trăsături surprinzătoare a universului timpuriu, care este extrema sa regularitate. Se ştie, din observaţii ale fondului cosmic de microunde, că distribuţia materiei în universul timpuriu a variat doar puţin de la un loc la altul. De ce? De ce universul nu a început cu variaţii mari ale densităţii? Dacă ar fi existat variaţii mari ale densităţii,[5] regiunile extrem de dense ar fi colapsat numaidecât în găuri negre.[3] în cazul unor variaţii suficient de mari, aceste aşa-numite găuri negre primordiale ar fi umplut universul timpuriu, ducând

la o lume cu mult mai multe găuri negre decât a noastră. Aceasta pare să infirme predicţia selecţiei naturale cosmologice conform căreia nu se poate face o mică schimbare a parametrilor legilor fizicii pentru a crea un univers cu mai multe găuri negre decât al nostru.

Cosmologii descriu variaţiile densităţii materiei cu ajutorul unui parametru numit scara fluctuaţiilor de densitate *[scale of density fluctuations].* Acesta nu e un parametru al Modelului Standard al fizicii particulelor, dar există modele ale universului timpuriu care au parametri ajustabili care pot mări densitatea fluctuaţiilor, şi e rezonabil să ne întrebăm dacă elesuntincompatibile cu selecţia naturală cosmologică. în majoritatea versiunilor inflaţiei, există un parametru care poate fi mărit pentrua ridica nivelul fluctuaţiilor de densitate şi a inunda astfel universul cu găuri negre

primordiale. Dar în unele dintre modelele inflationäre cele mai simple, creşterea acestui parametru face ca universul să se contracte, limitând drastic timpul în care inflaţia e posibilă. Rezultatul este un univers mult mai mic, care, deşi plin cu găuri negre primordiale, are în total mult mai puţine găuri negre decât al nostru.[8] Asta înseamnă că selecţia naturală cosmologică e compatibilă doar cu o teorie simplă a inflaţiei, incapabilă să producă un exces de găuri negre primordiale. Dacă s-ar găsi dovezi că inflaţia s-a petrecut într-un mod care necesită o teorie mai complexă, selecţia naturală cosmologică ar fi eliminată.[9] Inexistenţa unor asemenea dovezi este, prin urmare, o predicţie a selecţiei naturale cosmologice.

Fireşte, e posibil ca teoria corectă a universului foarte timpuriu să nu fie inflaţia, dar exemplul acesta serveşte pentru a arăta că selecţia naturală cosmologică e vulnerabilă la invalidare prin descoperirea

oricărui mecanism acţionând în universul timpuriu care ar fi putut produce multe găuri negre primordiale.[10]

Selecţia naturală cosmologică este de neconceput în afara contextului în care timpul e real. Un motiv este că singura supoziţie este că universul nostru are doar un avantaj adaptativ relativ în raport cu universuri de care diferă prin mici schimbări ale parametrilor. Aceasta e o condiţie foarte slabă. Nu este nevoie să presupunem că parametrii universului nostru sunt cei mai mari posibili; ar putea foarte bine să existe alte alegeri ale parametrilor care să conducă la un univers încă şi mai fertil. Scenariul prezice doar că ele nu pot fi obţinute printr-o mică schimbare a valorilor actuale.

Populaţia de universuri poate fi aşadar diversă, constând dintr-o varietate de specii, fiecare relativ fertilă în comparaţie cu cele care sunt uşor diferite. Amestecul de tipuri de universuri se va schimba continuu în timp, pe măsură ce noi

moduri de a fi fertil sunt descoperite prin încercare şi eşec. Aşa funcţionează biologia. Nu există specii adaptate maximal care persistă veşnic; în schimb, fiecare eră din istoria vieţii e caracterizată printr-un amestec diferit de specii, toate adaptate în mod relativ. Viaţa nu atinge niciodată un echilibru, o stare ideală; ea evoluează necontenit. în mod asemănător, oricare ar fi legile tipice în populaţia de universuri, ele se vor schimba în timp, pe măsură ce populaţia evoluează. Dacă ar exista o stare finală – în care, odată atinsă, amestecul de universuri ar rămâne neschimbat –, timpul ar deveni irelevant şi am putea spune că s-a atins un echilibru etern. Dar scenariul selecţiei naturale nu presupune şi nici nu implică aşa ceva. Timpul este întotdeauna prezent în scenariul selecţiei naturale cosmologice.

Mai mult, scenariul cere ca timpul să fie deopotrivă universal şi real. Populaţia de universuri evoluează rapid, crescând de

fiecare dată când unul dintre universuri formează o gaură neagră. Pentru a putea deduce predicţii din teorie, ea trebuie să stabilească câte universuri au cutare şi cutare proprietăţi la un moment de timp oarecare. Timpul acesta trebuie să aibă semnificaţie nu doar pe tot cuprinsul fiecărui univers, ci pentru întreaga populaţie. Avem aşadar nevoie de o noţiune de timp care să ne dea o imagine a simultaneităţii în fiecare dintre universuri şi pe ansamblul populaţiei.[11]

*

Să comparăm aceasta cu cazul inflaţiei eterne. Se afirmă că universul timpuriu e supus inflaţiei deoarece câmpurile cuantice care-i explică particulele şi forţele se află într-o fază care produce o cantitate foarte mare de energie întunecată. Asta face ca universul să se extindă exponenţial de repede. Inflaţia de regulă se opreşte atunci când se formează o bulă ca rezultat al unei tranziţii de fază. Aceasta e analogul

unei bule de vapori de apă care apare într-un vas cu apă încălzită; bula conţine faza gazoasă a apei, care se formează din faza lichidă. în scenariul cosmologic, bula conţine o fază a câmpurilor cuantice fără o cantitate mare de energie întunecată, aşa încât expansiunea ei încetineşte, iar bula devine universul nostru.

Vilenkin şi Linde au observat că mediul înconjurător, care încă mai conţine o cantitate mare de energie întunecată, va continua să se dilate rapid. Se formează alte bule, care devin alte universuri, la fel cum sa întâmplat şi cu universul nostru. Ei au descoperit că în anumite condiţii procesul poate continua veşnic, deoarece mediul care suferă inflaţia nu dispare nici-odată, deşi produce o infinitate de universuri-bulă. Dacă acest scenariu e corect, atunci universul nostru este unul dintr-un număr infinit de universuri care s-au format ca bule în mediul aflat în inflaţie eternă.

în versiunea cea mai simplă, pe care o voi adopta pentru scopurile

discuţiei noastre, legile care guvernează fiecare bulă sunt alese la întâmplare dintr-un peisaj de legi posibile.[12] în multe discuţii, se presupune că acest peisaj e oferit de diverse teorii ale corzilor—, dar şi de orice teorie cu parametri variabili, inclusiv de însuşi Modelul Standard.

în cazul cel mai simplu, proporţiile bulelor care aleg fiecare lege sunt constante, aşa încât, pe măsură ce sunt produse tot mai multe universuri-bulă, probabilităţile pentru ca diferite legi să fie valabile în întreaga populaţie rămân aceleaşi. într-un asemenea scenariu simplu, timpul şi dinamica nu joacă nici un rol în modul în care sunt specificate legile universului nostru între toate celelalte posibilităţi (eventual o infinitate). Distribuţia universurilor (adică probabilităţile pentru ca universurile să aibă diferite legi sau proprietăţi) atinge astfel un fel de echilibru în care rămâne pentru totdeauna. În acest sens, scenariul e atemporal, ceea ce face din el un

bun termen de comparaţie pentru selecţia naturală cosmologică.

întrucât legile din fiecare bulă sunt alese la întâmplare, universurile cu acel reglaj fin al legilor necesar pentru viaţă sunt extrem de rare. Prin urmare, universul nostru e un caz atipic în populaţia de universuri-bulă.

Pentru a face legătura între acest scenariu şi observaţiile asupra universului nostru, cosmologii trebuie să recurgă la principiul antropic, care, aşa cum am menţionat, afirmă că putem trăi doar într-un univers ale cărui legi şi condiţii iniţiale creează o lume prielnică vieţii. Principiul antropic ne îndrumă să selectăm fracţiunea minusculă de universuri primitoare din colecţia incomparabil mai numeroasă a lumilor lipsite de viaţă, fiindcă ne putem găsi doar în unul din prima categorie.

în mod remarcabil, listele trăsăturilor care fac ca o lume să fie prielnică vieţii şi să producă un număr mare de găuri negre au multe elemente comune. Aşa încât

cele două teorii – selecţia naturală cosmologică şi principiul antropic – par să explice o parte din aceleaşi reglaje fine ale parametrilor Modelului Standard. Să observăm însă cât de diferite sunt explicaţiile. În selecţia naturală cosmologică, lumea noastră e un univers tipic, iar majoritatea populaţiei va împărtăşi trăsăturile care conferă unui univers o valoare selectivă mare, pe când în multiversul inflaţiei eterne lumi precum a noastră sunt extrem de rare. în primul caz avem o explicaţie autentică; în al doilea, doar un principiu de selecţie.

Aceste tipuri diferite de explicaţie se deosebesc prin capacitatea lor de a face predicţii autentice privind trăsături ale universului care încă nu au fost observate. După cum am văzut, selecţia naturală cosmologică a sugerat deja câteva predicţii autentice. Dar scenariile care invocă principiul antropic ca explicaţie pentru legile şi condiţiile iniţiale ale universului nostru încă nu au furnizat nici măcar o singură predicţie falsificabilă printr-o

experienţă realizabilă în prezent. Mă îndoiesc că o vor face vreodată.

Iată de ce. Să considerăm o proprietate oarecare a universului nostru pe care dorim s-o explicăm. Proprietatea aceasta fie este necesară, fie nu este necesară pentru viaţa inteligentă. în primul caz, proprietatea e deja explicată prin existenţa noastră, căci ea trebuie să fie valabilă în oricare univers din
foarte mica fracţiune de universuri
care J
conţin viaţă inteligentă. Să considerăm acum o a doua clasă de proprietăţi, cele care nu sunt necesare pentru viaţa inteligentă. Deoarece legile sunt alese la întâmplare în fiecare dintre bule, aceste proprietăţi sunt distribuite la întâmplare în populaţia de universuri. Dar întrucât proprietăţile acestea nu au nimic de-a face cu viaţa, şi ele vor fi distribuite la întâmplare în mulţimea universurilor în care apare viaţa. Prin urmare, teoria nu face nici o predicţie despre ceea ce

noi, în universul nostru, trebuie să observăm în privinţa acestor proprietăţi.

Masa electronului e un bun exemplu pentru primul tip de proprietăţi; există dovezi solide că condiţiile prielnice vieţii s-ar deteriora dacă masa electronului ar diferi mult fată de valoarea observată.[13] Un bun exemplu pentru al doilea tip de proprietăţi e masa cuarcului top; din câte ştim, ea ar putea să varieze într-un interval larg fără să afecteze disponibilitatea pentru viaţă a universului nostru. Prin urmare, principiul antropic nu ne ajută să explicăm valoarea observată a masei sale.

Inflaţia eternă face o predicţie potenţial testabilă, anume că curbura spaţiului în toate universurile bulă e uşor negativă. (Un spaţiu cu curbură negativă este deformat ca o şa – spre deosebire de un spaţiu cu curbură pozitivă, asemenea unei sfere.) Dacă universul nostru a fost creat într-o bulă într- un multivers inflationär,

asta trebuie să fie valabil şi pentru el. Este o predicţie autentică, dar sunt câteva probleme în ce priveşte posibilitatea de testare. în primul rând, curbura negativă este foarte aproape de zero, iar zero e greu de distins de un număr foarte mic, pozitiv sau negativ. De fapt, curbura devine zero în limitele erorilor experimentale. Chiar şi cu datele mai bune preconizate pentru experimentele în curs, va fi foarte greu de spus dacă curbura este exact zero, uşor negativă sau uşor pozitivă. La fel ca în orice experiment ştiinţific, întotdeauna va exista o anumită incertitudine în măsurători. Dată fiind această incertitudine, este improbabil ca vreo observaţie să infirme curând predicţia.

Chiar dacă am reuşi să verificăm că curbura spaţială a universului nostru e uşor negativă, aceasta nu oferă dovezi că el este unul dintr-un vast multivers. Există o mulţime de modele şi scenarii cosmologice compatibile cu o valoare uşor negativă a curburii; conform unuia

dintre ele, universul nostru e unic şi reprezintă pur şi simplu o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein cu curbură J J negativă; asemenea soluţii există şi nu e nevoie de inflaţie pentru a le justifica. Un altul spune că inflaţia a produs un singur univers. Şi nici o observaţie nu poate confirma o ipoteză despre proprietăţile unui presupus ansamblu de alte universuri care nu-l afectează în nici un fel pe al nostru.

*

Scenariul inflaţiei eterne necesită un set de teorii posibile, iar acesta poate fi furnizat de numărul enorm de teorii posibile ale corzilor. Că exista un peisaj vast de teorii posibile ale corzilor a fost evident din articolul mai înainte menţionat al lui Strominger din 1986, dar s-a ajuns la o criză imposibil de ignorat atunci când, în 2003, s-au descoperit dovezi despre existenţa unui număr astronomic de teorii ale corzilor cu valori pozitive mici ale

constantei cosmologice.[14] Numărul lor a fost estimat cu aproximaţie la IO^{500}. Totuşi, cel puţin deocamdată, numărul, deşi enorm, este finit. După care, în 2005, fizicianul de la MIT Washington Taylor împreună cu colegii săi au fost în măsură să aducă dovezi pentru existenta unui număr infinit de teorii ale corzilor cu constante cosmologice *negative* mici.[15]

Aceasta are o consecinţă interesantă, pusă în evidentă în 2005 de fizicianul sud-african George F.R. Ellis.[16] Dacă există într-adevăr un număr infinit de teorii ale corzilor cu valori negative mici ale constantei cosmologice, dar numai un număr finit cu o constantă cosmologică pozitivă mică, atunci putem prezice că valoarea constantei cosmologice trebuie să fie mică şi negativă. Dacă valoarea reală este distribuită în mod aleatoriu printre universurile din multivers, atunci e infinit mai probabil că trăim într-un univers cu o valoare negativă decât într-unul

cu o valoare pozitivă, deoarece prima categorie este infinit mai numeroasă decât a doua. Aceasta ar fi o predicţie autentică a teoriei corzilor, iar asemenea lucruri sunt rare. După câte se pare, ea infirmă teoria, întrucât valoarea măsurată a constantei cosmologice e pozitivă.

Unii teoreticieni ai corzilor au avertizat că mai sunt încă multe de descoperit în ce priveşte construcţia teoriei corzilor, deci ar mai putea să apară dovezi pentru un număr infinit de teorii ale corzilor cu valori pozitive ale constantei cosmologice. Un alt răspuns a fost invocarea principiului antropic pentru a argumenta că universurile cu valori negative ale constantei cosmologice descrise de
Taylor şi colegii săi trebuie eliminate pe motiv că sunt neprielnice vieţii.[17] Tot ce avem însă nevoie pentru ca infinitatea de universuri cu constante cosmologice negative să domine numărul finit de universuri cu constante cosmologice pozitive este

ca orice fracţiune finită din prima categorie să conţină viată.

Problema cosmologiei antropice este că întotdeauna îi putem manipula presupunerile atunci când avem de-a face cu entităţi J teoretice precum alte universuri, care sunt în principiu neobservabile.[18] Nu putem verifica ipoteza că există un număr enorm sau infinit de alte universuri, nici nu putem număra cum sunt distribuite între ele diverse proprietăţi. Putem discuta dacă universuri diferite de al nostru ar putea sau nu să conţină viaţă, dar nu ne putem verifica argumentele prin observaţii.

O deosebire elocventă între teoriile antropice şi selecţia naturală cosmologică este modul cum abordează fiecare din ele dificila problemă a constantei cosmologice. După cum am menţionat, această importantă constantă a fizicii a fost măsurată şi are o valoare infimă, dar pozitivă: în unităţi ale scării Planck, IO^{120}. Misterul este de ce e atât de minusculă. Fapt relevant, dacă mărim constanta cosmologică în

raport cu valoarea observată, păstrând fixe toate celelalte constante din fizică şi cosmologie, ajungem curând la o valoare pentru care universul se extinde atât de repede încât galaxiile nu se formează niciodată. Să numim aceasta *valoarea critică.* Ea este de aproximativ douăzeci de ori mai mare decât valoarea observată.

De ce e relevant faptul acesta? Voi începe cu un raţionament eronat care decurge astfel:

(1) Galaxiile sunt necesare vieţii. Altminteri nu s-ar forma stele, iar fără stele nu există carbon şi nici energia care să favorizeze apariţia structurilor complexe, inclusiv viaţa, pe suprafaţa planetelor.
(2)Universul este plin cu galaxii.
(3) Dar pentru a se forma galaxii, constanta cosmologică trebuie să fie mai mică decât valoarea critică.
(4) în consecinţă, principiul antropic prezice că constanta cosmologică trebuie să fie mai

mică decât valoarea critică.

Vedeţi eroarea? Punctul nr. 1 este adevărat, dar el nu joacă nici un rol în logica raţionamentului. Adevăratul raţionament începe cu punctul 2. Faptul că universul e plin cu galaxii este evident din observaţii; este irelevant dacă viaţa ar fi sau nu posibilă fără ele. Prin urmare, primul punct poate fi eliminat din raţionament fără a slăbi concluzia. Dar punctul nr. 1 este singurul loc unde e menţionată viaţa, aşa încât, odată eliminat, principiul antropic nu mai joacă nici un rol. Concluzia corectă este:

> (4) în consecinţă, din faptul observat că universul e plin cu galaxii rezultă că constanta cosmologică trebuie să fie mai mică decât valoarea critică.

Un mod de a spune că raţionamentul e eronat este să ne întrebăm cum am reacţiona dacă s-ar dovedi că constanta cosmologică este mai mare decât valoarea critică. Nu am contesta afirmaţia

nr. 1, care e oricum irelevantă. Nu am contesta afirmaţia nr. 2, care e enunţul unui fapt. Am putea contesta doar nr. 3, care e un enunţ teoretic. Poate că am calculat greşit valoarea critică.

în 1987, Steven Weinberg a propus o explicaţie ingenioasă pentru valoarea mică a constantei cosmologice, care nu e supusă acestei erori, folosind în continuare principiul antropic.[19] lat-o: Să presupunem că universul nostru este unul dintr-un vast multivers în care valorile constantei cosmologice sunt distribuite în mod aleatoriu între zero şi unu.[20] întrucât avem nevoie de galaxii pentru a trăi, înseamnă că trăim într- unul dintre universurile cu o constantă cosmologică mai mică decât valoarea critică. Dar am putea trăi în oricare dintre acestea. Prin urmare, e ca şi cum ne-am afla în situaţia în care constanta cosmologică ar fi extrasă dintr-o pălărie, aleasă la întâmplare pentru a fi un număr între zero şi valoarea critică. Rezultă de aici că e

improbabil ca valoarea constantei noastre cosmologice să fie mult mai mică decât valoarea critică, deoarece numai o fracţiune minusculă a numerelor din legendara pălărie vor fi atât de mici. Ne-am aştepta ca, în universul nostru, constanta cosmologică să aibă acelaşi ordin de mărime ca valoarea critică, pentru că sunt mult mai multe numere având aproximativ acea mărime decât numere mult mai mici.

Pe această bază, Weinberg a prezis că constanta cosmologică trebuie să fie sub valoarea critică, dar cu cel mult un ordin de mărime. Şi, în mod remarcabil, când constanta cosmologică a fost măsurată zece ani mai târziu[21], s-a constatat că are aproximativ 5% din valoarea critică. Prin raţionamentul pe care tocmai l-am reprodus, asta s-ar întâmpla cam o dată la douăzeci de

extrageri ale unui număr din pălărie. Nu e ceva chiar atât de improbabil, se întâmplă o mulţime de lucruri în lume care au o şansă de unu la douăzeci. De aceea unii cosmologi susţin că succesul predicţiei lui Weinberg poate fi considerat ca o dovadă în favoarea ipotezei pe care s-a bazat – că trăim într-un multivers.

O dificultate cu această concluzie este că peste valoarea critică la care se face referire galaxiile nu s-ar forma *dacă constanta cosmologică ar fi singurul parametru care a variat.* Dar teoriile despre universul timpuriu au şi alţi parametri variabili. Dacă simultan cu constanta cosmologică variem şi pe unii dintre aceia, argumentul îşi pierde forţa.[22]

Să examinăm cazul în care variem mărimea fluctuaţiilor de densitate. Aşa cum am arătat, acestea determină gradul de uniformitate a distribuţiei materiei în

universul timpuriu. Fluctuaţiile de densitate sunt relevante, pentru că

dacă ar fi mai mari, constanta cosmologică ar putea să depăşească cu mult valoarea critică, şi totuşi galaxiile să se formeze în regiunile foarte dense create de fluctuaţii. Există în continuare o valoare critică pentru constanta cosmologică, dar ea creşte odată cu mărimea fluctuaţiilor de densitate.

Putem deci relua raţionamentul, lăsând constanta cosmologică şi mărimea fluctuaţiilor să varieze amândouă pe cuprinsul populaţiei de universuri. Să extragem acum din pălărie câte două numere pentru fiecare univers, unul pentru constanta cosmologică, celălalt pentru mărimea fluctuaţiilor de densitate. Alegem acele numere la întâmplare, în intervalul în care se formează galaxii.[23] Se dovedeşte că probabilitatea de a obţine în mod aleatoriu ca ambele numere să fie atât de mici pe cât se observă că sunt se reduce acum de la o şansă din 20 la câteva părţi din 100 000.[24]

Problema este că, întrucât nu observăm alte universuri, e imposibil să ştim care anume

constante variază pe cuprinsul ipoteticului multivers. Dacă presupunem că numai constanta cosmologică poate să varieze pe cuprinsul multiversului, argumentul lui Weinberg funcţionează bine. Dar dacă presupunem că deopotrivă constanta cosmologică şi mărimea fluctuaţiilor variază, argumentul nu mai funcţionează chiar atât de bine. în lipsa oricărei dovezi independente privind care din aceste ipoteze e adevărată, dacă este vreuna, argumentul nu duce la nici o concluzie.

Prin urmare, afirmaţia că argumentul lui Weinberg a prezis corect valoarea aproximativă a constantei cosmologice cade, din cauza unei erori mai subtile decât cea discutată înainte. Eroarea aceasta, care le e cunoscută specialiştilor în teoria probabilităţilor, apare de fiecare dată când se profită de libertatea de a alege în mod arbitrar o distribuţie de probabilitate ce descrie entităţi ne observabile, şi ca atare nu poate fi verificată independent. Argumentul iniţial al lui Weinberg nu are forţă logică, fiindcă se poate ajunge la o concluzie diferită făcând o presupunere diferită despre entităţile neobservabile.[25]

Selecţia naturală cosmologică are mai mult succes în explicarea aceloraşi dovezi, deoarece oferă un motiv pentru a fixa atât mărimea fluctuaţiilor, cât şi constanta cosmologică. Să ne aducem aminte că în unele modele simple de inflaţie mărimea fluctuaţiilor e puternic anticorelată cu dimensiunea universului; altfel

spus, cu cât fluctuaţiile sunt mai mici, cu atât universul e mai mare, şi deci (dacă nimic altceva nu se schimbă) sunt mai multe găuri negre. De aceea mărimea fluctuaţiilor trebuie să fie aproape de limita[3] inferioară a intervalului necesar pentru formarea galaxiilor. Aceasta implică, la rândul ei, o valoare critică mică a constantei cosmologice compatibilă cu formarea galaxiilor. Selecţia naturală cosmologică, împreună cu modelul simplu de inflaţie, prezice că mărimea fluctuaţiilor şi constanta cosmologică trebuie să fie amândouă mici. Predictia aceasta nu e arbitrară, şi este în bun acord cu datele observationale.

Pe de altă parte, principiul antropic este compatibil cu un univers mult mai mic, o singură galaxie fiind probabil de ajuns pentru a da naştere vieţii inteligente. Observaţiile sugerează că o mare parte din stele au planete, aşa încât sunt suficiente planete într- o galaxie pentru a fi

siguri că pe cel puţin una dintre ele există viaţă. Adăugarea altor galaxii nu va mări probabilitatea de apariţie a vieţii. Un adept entuziast al principiului antropic ar putea să replice că acesta poate fi salvat modificându-l pentru a afirma că e mai probabil să trăim într-un univers cu un număr mare de planete care adăpostesc viaţă. Aceasta oferă un motiv de a prefera universuri cât mai mari cu putinţă, ceea ce implică valori mici deopotrivă pentru fluctuaţiile de densitate şi pentru constanta cosmologică.

Pesemne că se întâmplă ceva ciudat, fiindcă se pare că alterăm predicţia unei teorii fără a modifica efectiv nici un fapt. Cele două versiuni ale principiului antropic nu se deosebesc prin nici o afirmaţie despre multiversul real, ci doar prin modul cum selectăm universurile asupra cărora simţim că trebuie să ne îndreptăm atenţia dintr-o populaţie mult mai numeroasă de universuri neprielnice vieţii.

„Numai o clipă”, ar putea

răspunde entuziastul antropic. „O civilizaţie dintr-un multivers este mult mai probabil să se găsească într-un univers cu multe civilizaţii, şi deci multe galaxii, decât într-un univers cu o singură galaxie.” Acesta pare la început un argument plauzibil, dar trebuie să replicăm: „De unde ştii?” Ar putea fi mult mai multe universuri mici în multivers decât universuri mari, aşa încât o civilizaţie aleasă la întâmplare e mai probabil să fie într-un univers mic. Care scenariu este corect depinde de distribuţia relativă a universurilor mari şi mici în multivers, dar trăsătura aceasta nu poate fi verificată în mod independent. Teoreticienii ar putea probabil să producă diferite modele, favorizând diferite distribuţii ale dimensiunilor universurilor, dar faptul că poţi ajusta trăsături neobservabile ale scenariului tău, pentru a-ţi permite să alegi unul care se potriveşte mai bine cu ipoteza ta, nu constituie o dovadă în favoarea acelui scenariu.

în selecţia naturală cosmologică

însă, universul nostru este un membru tipic al populaţiei de universuri, şi nu există posibilitatea introducerii unui principiu ajustabil pentru a elimina cazurile atipice.

Să observăm că argumentul nu se referă la crearea de universuri în găuri negre *versus* crearea lor ca bule pe durata inflaţiei. El se referă la rolul timpului şi al dinamicii în logica prin care scenariile explică trăsături cunoscute ale universului şi prezic altele noi. Un model inflaţionar ar putea folosi timpul şi lungi filiaţii genealogice – bule în interiorul bulelor în interiorul altor bule –, aşa încât să evite dependenţa de principiul antropic şi să profite de avantajele selecţiei naturale cosmologice.

Nu e vorba doar că teoria care postulează o evoluţie continuă în timp explică mai bine datele observationale decât teoria atemporală. La fel de important este că teoria care apelează la evoluţie face o predicţie clară, în vreme ce predicţiile argumentului antropic sunt ajustabile după cum

vrem să
funcţioneze argumentul. Contrar primei impresii, ipotezele bazate pe ideea că legile naturii evoluează în timp sunt mai vulnerabile la falsificare decât scenariile cosmologice atemporale. Iar dacă o idee nu e vulnerabilă la falsificare, ea nu este ştiinţă.

---

15. Pentru peisajul oferit de teoriile corzilor, vezi Leonard Susskind, *Peisajul cosmic. Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent* (Humanitás, Bucureşti, 2017) (n. red.).

12. Mecanica cuantică şi eliberarea atomului

Am văzut că realitatea timpului este cheia pentru abordarea misterului privitor la ce anume selectează legile naturii. Ea o face susţinând ipoteza că acele legi evoluează. A considera că timpul e fundamental poate contribui şi la rezolvarea unei alte mari enigme a fizicii – înţelegerea mecanicii cuantice. Realitatea timpului permite o nouă formulare a teoriei cuantice, capabilă de asemenea să clarifice modul în care evoluează legile în timp.

Mecanica cuantică se bucură de cel mai mare succes dintre toate teoriile fizice inventate până acum. Practic nici una dintre tehnologiile digitale, chimice şi medicale pe care ne bazăm nu ar exista în absenta fizicii

cuantice. Cu toate acestea, avem

motive întemeiate să credem că teoria e incompletă.

Mecanica cuantică este fără îndoială o provocare adresată încercărilor noastre de a înţelege lumea. De la crearea ei în anii 1920, fizicienii au născocit scenarii bizare pentru a explica enigmele teoriei cuantice. Pisici care sunt în acelaşi timp vii şi moarte, o infinitate de universuri care există simultan, o realitate care depinde de ceea ce se măsoară sau de cine observă, particule care-şi transmit semnale una alteia pe distanţe enorme cu viteze mai mari decât a luminii — acestea sunt câteva dintre ideile ingenioase propuse ca soluţii ale misterelor lumii subatomice.

Toate aceste strategii apar ca o reacţie la faptul că mecanica cuantică nu oferă o imagine fizică despre ce se petrece într-un experiment individual. în privinţa asta nu există controverse. Axiomele mecanicii cuantice includ afirmaţia că ea furnizează doar predicţii statistice pentru rezultatele experimentelor.

Einstein a susţinut cu mult timp în urmă că mecanica cuantică e incompletă fiindcă nu reuşeşte să ofere o descriere precisă despre ce se întâmplă într-un experiment individual. Ce anume face un electron atunci când sare dintr-o stare energetică într-alta? Cum reuşesc să comunice instantaneu nişte particule aflate prea departe una de alta? Cum se face că ele par a fi în două locuri simultan? Mecanica cuantică nu dă nici un răspuns. Cu toate acestea, ea este extraordinar de utilă, în parte fiindcă oferă fizicii un limbaj şi un cadru pentru organizarea unor cantităţi enorme de date empirice. Chiar dacă nu reuşeşte să ne arate ce se întâmplă efectiv la nivel subatomic, ea ne oferă un algoritm pentru a prezice probabilităţile diferitelor rezultate experimentale. Iar până acum algoritmul funcţionează.

Poate o teorie să aibă succes ca generator de predicţii, şi totuşi să fie incorectă, în sensul că viitoare teorii ar putea răsturna ipotezele

sale asupra lumii? Aceasta s-a întâmplat de mai multe ori în istoria ştiinţei. Ipotezele care stau la baza legilor mişcării ale lui Newton au fost răsturnate de relativitate şi teoria cuantică. Modelul lui Ptolemeu al sistemului solar ne-a servit bine timp de peste un mileniu, şi totuşi el s-a bazat pe idei profund greşite. S-ar părea că eficienţa nu-i o garanţie a adevărului.

Am ajuns să cred că mecanica cuantică va avea aceeaşi soartă ca marile teorii ale lui Ptolemeu şi Newton. Poate că n-o putem înţelege pur şi simplu fiindcă nu este adevărată. în schimb, e probabil să fie o aproximaţie a unei teorii mai profunde, care va fi mai uşor de înţeles. Acea teorie mai profundă este teoria cosmologică necunoscută către care conduc toate argumentele din cartea de faţă. Cheia este, din nou, realitatea timpului.

Mecanica cuantică e o teorie problematică din trei motive strâns înrudite. Primul, ea nu reuşeşte să

ofere o imagine fizică despre ce se petrece într-un proces sau experiment individual; spre deosebire de teoriile fizice anterioare, formalismul folosit în mecanica cuantică nu poate fi interpretat în sensul că arată ce se petrece clipă de clipă în timp. Al doilea, în majoritatea cazurilor ea nu reuşeşte să prezică rezultatul *exact* al unui experiment; în loc să ne spună ce se va întâmpla, ea ne oferă doar probabilităţi pentru diverse lucruri care s-ar putea întâmpla.

A treia şi cea mai problematică trăsătură a mecanicii cuantice este că pentru exprimarea teoriei sunt necesare noţiuni precum măsurătoare, observaţie sau informaţie. Acestea trebuie considerate noţiuni primare; ele nu pot fi explicate în termenii proceselor cuantice fundamentale. Mecanica cuantică este nu atât o teorie, cât o metodă pentru a codifica modul în care experimentatorii interoghează sistemele microscopice. Nici

instrumentele de măsură pe care le folosim pentru a interacţiona cu un sistem cuantic, nici ceasul cu ajutorul căruia măsurăm timpul nu pot fi descrise în limbajul mecanicii cuantice – şi nici noi, ca observatori, nu putem fi descrişi astfel. Asta sugerează că pentru a crea o teorie cosmologică validă va trebui să renunţăm la mecanica cuantică şi s-o înlocuim cu o teorie care poate fi extinsă asupra întregului univers, inclusiv asupra noastră, ca observatori, şi asupra instrumentelor de măsură şi ceasurilor noastre.[1]

În căutarea acelei teorii, trebuie să avem în vedere trei indicii referitoare la natură despre care experimentul a arătat că sunt parte integrantă a fizicii cuantice: *întrebările incompatibile, corelaţia cuantică [entanglement]* şi *caracterul nelocal [nonlocality].*

Orice sistem va avea o listă de proprietăţi – de pildă, poziţia şi impulsul[2] pentru particule, sau culoarea şi înălţimea tocului pentru pantofi. Fiecărei proprietăţi îi este

asociată o întrebare care se poate pune: Unde se află particula acum? Ce culoare are pantoful ei? Este rolul experimentului să interogheze sistemul pentru a obţine răspunsuri la aceste întrebări. în fizica clasică, dacă vrei să descrii complet un sistem răspunzi la toate întrebările, iar asta îţi oferă toate proprietăţile. În fizica cuantică însă, cadrul necesar pentru a pune o întrebare poate face ca alte întrebări să fie fără răspuns.

De exemplu, poţi întreba care e poziţia unei particule, sau ce impuls are, dar nu ambele simultan. Este ceea ce Niels Bohr a numit *complementaritate* şi ceea ce înţeleg fizicienii atunci când vorbim despre *variabile necomutative.* Dacă ar exista modă cuantică, atunci culoarea pantofilor şi înălţimea tocului ar putea fi proprietăţi incompatibile. Situaţia diferă foarte mult de cea din fizica clasică, unde nu eşti pus să alegi ce proprietate să măsori şi pe care s-o omiţi. întrebarea crucială este dacă alegerea pe care trebuie s-o facă

experimentatorul influenţează realitatea sistemului studiat.

Corelaţia cuantică [entanglement] este de asemenea un fenomen pur cuantic, potrivit căruia sisteme cuantice pereche pot avea anumite proprietăţi comune, fiecare sistem rămânând în acelaşi timp nedefinit individual. Altfel spus, poţi pune o întrebare despre o relaţie între membrii perechii care să aibă un răspuns bine definit, în vreme ce răspunsul la orice întrebare înrudită privitoare la membrii individuali nu are. Să considerăm o pereche de pantofi cuantici. Ei ar putea avea o proprietate numită *contrarietate [contrary],* potrivit căreia orice întrebare pusă amândurora va furniza răspunsuri contrare. Dacă-i întrebi pe amândoi ce culoare au, iar pantoful stâng răspunde „alb”, atunci dreptul va răspunde „negru”, şi viceversa. Dacă întrebi despre înălţimea tocului, atunci dacă tocul pantofului stâng e înalt, tocul celui stâng va fi jos, şi viceversa. Dacă întrebi numai despre înălţimea

tocului pantofului stâng, răspunsul va fi sau „înalt”, sau „jos”, cu o probabilitate de 50%. în mod asemănător, privitor la culoarea unui singur pantof, răspunsul va fi sau „negru”, sau „alb”, cu o probabilitate de 50%. De fapt, dacă perechea de pantofi cuantici are proprietatea de *contrarietate,* atunci orice întrebare adresată unuia singur va atrage răspunsuri aleatorii, iar orice întrebare adresată ambilor va atrage răspunsuri contrare.

în fizica clasică, orice proprietate a unei perechi de particule e reductibilă la o descriere a proprietăţilor fiecăreia în parte. Corelaţia cuantică arată că acest lucru nu e

adevărat pentru sistemele cuantice. Important pentru discuţia noastră este că prin corelaţie cuantică pot fi create proprietăţi noi în natură. Dacă corelezi două sisteme cuantice de acelaşi tip, care până atunci n-au interacţionat niciodată, preparându-le cu o proprietate cum e *contrarietatea,* creezi o proprietate

care n-a existat niciodată până atunci în natură.

Perechile corelate cuantic sunt create aducând laolaltă două particule subatomice şi făcându-le să interacţioneze. Odată corelate, ele rămân corelate cuantic, chiar dacă se separă şi se îndepărtează la mare distanţă una de alta. Atâta vreme cât nici una din ele nu interactionează cu un alt sistem, ele continuă să aibă în comun proprietăţi corelate cuantic, cum e *contrarietatea.* Asta dă naştere celui de-al treilea şi cel mai uimitor indiciu privind natura la nivel cuantic, *caracterul nelocal.*

Să corelăm cuantic o pereche de pantofi cu proprietatea *contrarietate* la Montréal, după care trimitem pantoful stâng la Barcelona, iar dreptul la Tokyo. Experimentatorii de la Barcelona se hotărăsc să măsoare culoarea pantofului stâng. Decizia lor pare să afecteze instantaneu culoarea pantofului drept, aflat la Tokyo. Aceasta fiindcă, odată ce au observat culoarea pantofului lor, cei

din laboratorul de la Barcelona pot prezice corect că pantoful de la Tokyo are culoarea opusă.

În secolul XX, ne-am obişnuit ca interacţiunile fizice să posede o proprietate numită caracter local, ceea ce înseamnă că, în cazul unui transfer de informaţie dintr-un loc î într-altul, ea trebuie să se propage prin intermediul unei particule sau al unei unde. Conform relativităţii restrânse, e de presupus că orice informaţie călătoreşte cu viteza luminii sau mai lent. Fizica cuantică pare să încalce acest principiu de bază al relativităţii restrânse.

Efectele nelocale din teoria cuantică sunt reale, dar ele sunt subtile şi nu pot fi folosite pentru a transmite informaţie între Barcelona şi Tokyo. Motivul este că indiferent ce proprietate se hotărăsc să măsoare experimentatorii din Tokyo, pentru ei rezultatul va părea aleatoriu. Ei vor observa la fel de frecvent că pantoful lor e negru sau alb. Numai după ce află ce culoare a fost observată la Barcelona, ei vor înţelege că perechea are culori

opuse. Dar pentru a înţelege asta e nevoie ca informaţia să fie transmisă între Barcelona şi Tokyo – aşadar, cu viteza luminii sau mai lent.

Rămâne însă întrebarea cum se stabilesc corelaţiile între pantofii din Tokyo şi Barcelona, aşa încât atunci când experimentatorii de acolo deschid fiecare cutia lor şi scot pantoful, culorile să fie întotdeauna opuse. S-ar putea crede că cine a împachetat cutiile la Montréal a avut grijă să pună o culoare în cutia expediată la Tokyo şi culoarea opusă în cutia expediată la Barcelona. Totuşi, se poate demonstra printr- o combinaţie de argumente teoretice şi rezultate experimentale că aşa ceva nu se întâmplă. în schimb, corelaţiile se stabilesc cumva în momentul când sunt deschise cutiile la Tokyo şi la Barcelona.

Să presupunem că avem o cutie mare plină cu perechi de pantofi şi că am corelat cuantic fiecare pereche cu proprietatea *contrarietate.* Expediem toţi pantofii

stângi la Barcelona şi pe toţi cei drepţi la Tokyo. Să-i lăsăm pe experimentatorii din fiecare oraş să aleagă la întâmplare ce proprietate a fiecărui pantof individual să măsoare şi să ţină evidenţa rezultatelor. Ei îşi trimit opţiunile şi rezultatele înapoi la fabrica din Montréal, unde acestea sunt comparate. Se dovedeşte că singura posibilitate de a înţelege rezultatele în ansamblu e să se presupună existenţa unor efecte nelocale, prin care proprietăţile unui pantof din fiecare pereche sunt influenţate de ceea ce s-a decis să se măsoare la celălalt pantof. Acesta e conţinutul unei teoreme demonstrate în 1964 de fizicianul irlandez John Stewart Beli şi verificată printr-un set de experimente ingenioase înrudite.

Aceste trăsături şi probleme s-au bucurat de multă atentie în cele nouă decenii scurse de la formularea mecanicii cuantice. Au fost propuse numeroase abordări vizând o mai bună înţelegere a sa. Cred acum că nici una nu-şi atinge ţinta, şi că trăsăturile stranii ale

teoriei cuantice apar din cauză că ea este o trunchiere a unei teorii cosmologice – o trunchiere aplicabilă la subsisteme mici ale universului. Acceptând realitatea timpului, deschidem calea către o înţelegere a teoriei cuantice care îi lămureşte misterele şi le-ar putea rezolva.

*

Cred de asemenea că realitatea timpului face posibilă o nouă formulare a mecanicii cuantice.[3] Formularea aceasta e nouă şi speculativă. Ea nu a dus încă la nici o predicţie experimentală precisă, ca să nu mai vorbim de teste experimentale, de aceea nu pot afirma că e corectă. Ea oferă însă o perspectivă radical diferită asupra naturii legilor fizicii, concretizând într-un mod nou şi surprinzător ideea de legi care evoluează în timp. Şi probabil că va fi testabilă, după cum vom vedea numaidecât.

Dar putem oare într-adevăr renunţa la ideea unor legi ale naturii atemporale fără să pierdem

capacitatea fizicii de a explica atât de multe despre lumea din jurul nostru? Suntem obişnuiţi să credem că legile sunt deterministe. Una dintre consecinţele determinismului este că nu poate exista nimic cu adevărat nou în univers – tot ce se întâmplă este rearanjarea particulelor elementare cu proprietăţi imuabile prin legi imuabile.

Există fără îndoială nenumărate situaţii în care ne putem baza pe faptul că viitorul va oglindi trecutul. Când facem un experiment pe care l-am mai efectuat de multe ori şi întotdeauna am obţinut acelaşi rezultat, ne putem aştepta la acel rezultat şi în viitor. (Chiar dacă rezultatele diferă uneori, proporţiile acestora se vor păstra în măsurătorile viitoare.) Ne putem aştepta ca data următoare când aruncăm o minge traiectoria ei să fie o parabolă, aşa cum s-a întâmplat de fiecare dată când am făcut lucrul acesta în trecut. De obicei spunem că asta se datorează

faptului că mişcarea e determinată de o lege atemporală a naturii, care, atemporală fiind, va acţiona şi în viitor la fel cum a acţionat în trecut. Prin urmare, legea atemporală exclude noutatea autentică.

Pentru a explica faptul că prezentul oglindeşte trecutul este într-adevăr necesar să presupunem că acţionează o lege atemporală? Avem nevoie de noţiunea de lege numai în cazurile în care un proces sau un experiment a fost repetat de multe ori. Dar pentru a explica aceste cazuri nu-i nevoie de o lege atemporală. E suficient ceva mult mai slab – de pildă un principiu care afirmă că măsurătorile repetate duc la aceleaşi rezultate. Nu fiindcă ele se supun unei legi, ci fiindcă singura lege este un *principiu al precedenţei [principie of precedence].* Un asemenea principiu ar explica toate exemplele în care determinismul prin legi funcţionează, fără a interzice însă ca măsurători noi să producă rezultate noi, imprevizibile pe baza cunoaşterii trecutului. Ar putea

exista cel puţin un mic grad de libertate în evoluţia unor stări noi fără a contrazice aplicarea legilor în împrejurări care au fost produse în mod repetat în trecut. Dreptul comun în tradiţia anglo-saxonă operează pe baza unui principiu al precedenţei, judecătorii fiind constrânşi să decidă la fel ca omologii lor din trecut, atunci când le sunt prezentate cazuri similare. Ce vreau eu să sugerez este că ceva asemănător ar putea fi valabil şi în natură.

După ce am formulat această idee, am fost surprins să aflu că şi aici fusesem precedat de Charles Sanders Peirce, care a spus că legile naturii sunt obişnuinţe *[habits]* formate în decursul timpului:

> Toate lucrurile au tendinţa să capete obişnuinţe. Atomii şi părţile lor, moleculele şi grupurile de molecule, pe scurt, orice obiect real conceptibil e mult mai probabil să acţioneze la fel ca într-o ocazie precedentă

> asemănătoare decât altfel. Tendinţa aceasta constituie ea însăşi o regularitate şi e în continuă creştere. Privind înapoi în trecut, privim către perioade când tendinţa era tot mai puţin fermă.[4]

Acest principiu va deveni crucial în cazurile autentic noi. Căci dacă natura operează într- adevăr conform unui principiu al precedenţei, şi nu conform unei legi atemporale, atunci în absenţa unor precedente nu vor exista predicţii privind comportamentul unui sistem. Dacă producem un sistem cu adevărat nou, răspunsul său la măsurătoare nu va fi predictibil pe baza vreunei informaţii pe care o avem deja. Abia după ce am produs numeroase copii ale acelui sistem intră în acţiune principiul precedenţei. Din acel moment, comportamentul sistemului e previzibil.

Dacă natura e astfel, atunci viitorul este într-adevăr deschis. Am dispune în continuare de avantajul

unor legi sigure în cazurile cu precedent amplu, dar fără încorsetarea determinismului.

Se cuvine să spunem că mecanica clasică împiedică existenţa noului autentic, pentru că tot ce se întâmplă e mişcarea particulelor conform legilor fixe. Fizica cuantică se deosebeşte însă de mecanica clasică în două privinţe, ceea ce ne permite să înlocuim legile atemporale cu un principiu al precedenţei.

În primul rând, aşa cum am văzut, corelaţia cuantică poate produce proprietăţi într-adevăr noi. Putem testa o pereche de particule în privinţa unei proprietăţi corelate cuantic cum e *contrarietatea,* o proprietate pe care n-o au particulele individuale. în al doilea rând, pare să existe un element autentic aleatoriu în reacţiile sistemelor

cuantice la mediile lor. Chiar dacă ştii totul despre trecutul unui sistem cuantic, nu poţi prezice cu certitudine ce va face el atunci când e măsurată una dintre proprietăţile

lui.

Aceste două trăsături ale sistemelor cuantice ne permit să înlocuim postularea unor legi atemporale cu ipoteza că în natură acţionează un principiu al precedenţei care asigură că viitorul seamănă cu trecutul. Acest principiu e suficient pentru a susţine determinismul acolo unde e necesar, dar el presupune că natura, când este confruntată cu proprietăţi noi, poate dezvolta legi noi care să se aplice la ele.

Iată o ilustrare simplă a modului cum funcţionează principiul precedenţei în fizica cuantică: să considerăm un proces cuantic în care un sistem e preparat şi apoi măsurat, şi să presupunem că procesul acesta s-a repetat de multe ori în trecut. Aceasta ne oferă o colecţie de rezultate anterioare ale măsurătorii: la o anumită întrebare, sistemul a răspuns afirmativ de X ori şi negativ de Y ori. Rezultatul oricărei viitoare repetări a acelui proces este atunci selectat aleatoriu din colecţia de rezultate ale

cazurilor anterioare. Să presupunem acum că nu există nici un precedent, pentru că sistemul a fost preparat cu o valoare bine definită a unei proprietăţi cu adevărat noi. Atunci rezultatul măsurătorii va fi liber, în sensul că nu e determinat de nimic din trecut.

Să însemne oare ideea aceasta că natura este într-adevăr liberă să aleagă rezultatul unui experiment? Se ştie deja că, într-un anumit sens, sistemele cuantice posedă un element de libertate – un sens lămurit de o recentă teoremă descoperită şi demonstrată de John Conway şi Simon Kochen, doi matematicieni de la Princeton. Nu-mi prea place numele pe care l-au dat rezultatului lor, dar e atrăgător şi a avut succes: *teorema liberului-arbitru.*[5] Teorema se aplică în cazul a doi atomi (sau alte sisteme cuantice) care devin corelaţi cuantic, iar apoi se separă, după care e măsurată o proprietate a fiecăruia. Teorema afirmă: Să presupunem că există un sens în care cei doi experimentatori sunt

liberi să aleagă ce să măsoare la atomii lor. Atunci răspunsul atomilor la măsurătoare este liber în acelaşi sens.

Aceasta nu are nimic de-a face cu conceptul evaziv de liber-arbitru. Dacă afirmăm că experimentatorii sunt liberi să aleagă ce să măsoare, înţelegem că opţiunea lor nu e determinată de istoria lor. Nici o cantitate de cunoştinţe despre trecutul experimentatorilor şi lumea lor nu ne va permite să le prezicem opţiunea. Atunci atomii sunt de asemenea liberi, în sensul că nici o cantitate de informaţii despre trecut nu ne permite să prezicem rezultatul unei măsurători asupra uneia dintre proprietăţile lor.[6]

Mi se pare minunat să-mi imaginez că o particulă elementară e cu adevărat liberă, chiar şi în sensul acesta restrâns. El presupune că nu există nici un motiv pentru ce alege un electron să facă atunci când îl măsurăm – şi prin urmare nici un cadru determinist sau algoritmic nu poate capta în întregime evoluţia unui

microsistem. E un lucru emoţionant şi înfricoşător totodată, întrucât ideea că alegerile făcute de atomi sunt cu adevărat libere (adică fără vreo cauză) nu satisface cerinţa raţiunii suficiente – existenţa unui răspuns la orice întrebare pe care am putea-o pune naturii.

Putem oare cuantifica de câtă libertate dispune natura, dacă mecanica cuantică este corectă? Ştim că mecanica clasică nu are o astfel de libertate, fiindcă ea descrie o lume deterministă al cărei viitor poate fi prezis în întregime din cunoaşterea trecutului. Statistica şi probabilităţile pot juca un rol în descrierea lumii clasice, dar ele reflectă doar ignoranţa noastră. Nici o libertate nu este garantată, pentru că întotdeauna putem afla suficient pentru a face predicţii exacte.

Teorema lui Conway şi Kochen sugerează că sistemele cuantice au un grad de libertate reală, dar ar putea exista un tip de fizică potrivit căreia natura să aibă şi mai multă libertate? Mi-am pus întrebarea

asta şi nu a fost prea greu să răspund. în acest scop, mam bazat pe cercetări recente asupra fundamentelor mecanicii cuantice care mi-au oferit o definiţie precisă despre cât de multă libertate poate avea un sistem cuantic.

în jurul anului 2000, Lucien Hardy, pe atunci la Universitatea din Oxford, dar care scurt timp după aceea s-a mutat la Institutul Perimeter pentru Fizică Teoretică, a conceput o clasă generală de teorii care prezic probabilităţile pentru rezultatele măsurătorilor. Acestea includeau nu doar mecanicile clasică şi cuantică, ci şi multe alte teorii. Hardy a cerut doar ca teoriile să utilizeze consecvent noţiunea de probabilitate şi să se comporte rezonabil atunci când sunt aplicate fie unui sistem izolat, fie la două sau mai multe sisteme în combinaţie. Aceste cerinţe sunt exprimate într-o listă scurtă de presupuneri, sau axiome, pe care Hardy le numeşte „axiome rezonabile”.[7] Ulterior ele au fost dezvoltate şi modificate de alţi

teoreticieni. Am putut să folosesc o versiune a axiomelor lui Hardy elaborată de Lluis Masanes şi Markus Miiller[8] pentru a face o afirmaţie precisă despre câtă libertate are o teorie.

Cantitatea de libertate este exprimată prin cât de multă informaţie despre un sistem trebuie să posezi pentru a putea face predicţii asupra viitorului său. Informaţia aceasta poate fi obţinută preparând multe copii identice ale sistemului şi punând diferite întrebări despre fiecare. Predicţiile pe care această interogaţie ne permite să le facem ar putea fi tot probabiliste, dar sunt cele mai bune predicţii cu putinţă, în sensul că nici o observaţie ulterioară asupra sistemului nu lear îmbunătăţi precizia. Pentru fiecare sistem studiat de Hardy, există o anumită cantitate finită de informaţie necesară pentru a stabili cel mai bine cum va reacţiona sistemul la orice măsurătoare posibilă. Cu cât trebuie să măsori mai multe lucruri despre un sistem înainte de a putea

face cele mai bune predicţii posibile, cu atât el are mai multă libertate.

Pentru a vedea câtă libertate implică asta, trebuie să comparăm cantitatea de informaţie necesară pentru a face predicţii cu o măsură a mărimii sistemului. O măsură utilă este numărul de răspunsuri pe care-l poate da sistemul la o întrebare pusă într-un experiment. în cazul cel mai simplu, există doar două opţiuni: dacă întrebi despre culoarea unui pantof cuantic, el poate fi alb sau negru. Dacă întrebi despre înălţimea tocului, acesta poate fi înalt sau jos.

Ce am demonstrat eu este că mecanica cuantică maximizează cantitatea de informaţie necesară per opţiune. Altfel spus, mecanica cuantică descrie un univers în care se pot face predicţii probabilistice asupra comportamentului sistemelor, dar în care acele sisteme au în raport cu determinismul libertatea maximă pe care o poate avea un sistem fizic descris de probabilităţi. Prin

urmare, în sensul în care sistemele cuantice sunt libere, ele sunt libere în cel mai înalt grad posibil. Combinând principiul precedenţei cu acest *principiu al libertăţii maxime,* se obţine o nouă formulare a fizicii cuantice. Formularea aceasta nu poate fi exprimată în afara unui cadru în care timpul este real, deoarece utilizează în mod esenţial distincţia dintre trecut şi viitor. Putem deci abandona ideea că există legi ale naturii atemporale şi deterministe, fără să pierdem nimic din puterea explicativă a fizicii.

Rezultatul că sistemele cuantice îşi maximizează libertatea a fost un pas aproape banal, date fiind lucrările anterioare ale lui Hardy, Masanes şi Müller. Perspectiva nouă pe care am adus-o asupra problemei a fost realitatea timpului.

Prima reacţie a unor prieteni şi colegi când le-am explicat ideea aceasta a fost să râdă. Fără îndoială că mai rămân detalii de completat, de pildă modul cum se acumulează precedenţa pornind de la libertatea

primului caz, prin următoarele câteva cazuri, şi mai departe către cazuri bine stabilite, cu multe precedente.[9] Dar dincolo de amănunte, propunerea unui principiu al precedenţei conţine un element de implauzibilitate. Cum îşi recunoaşte un sistem toate precedentele? Prin ce mecanism îşi selectează el la întâmplare un element din mulţimea precedentelor sale? Aceasta pare să necesite un nou tip de interacţiune, prin care un sistem fizic poate interacţiona cu copii ale sale din trecut.

Principiul nu spune cum se petrece lucrul acesta; în privinţa asta, el nu e mai bun decât formularea obişnuită a mecanicii cuantice. în vechea formulare, măsurătoarea este o noţiune primară; în prezenta formulare, a fi un sistem cuantic de acelaşi tip (adică preparat şi transformat în acelaşi fel) este o noţiune primară. Dar întrebări similare s-ar fi putut pune şi despre ideea unei legi a naturii atemporală care acţionează pentru a produce mişcare şi

schimbare. Cum „ştie” un electron că este electron, astfel încât i se aplică ecuaţia Dirac, şi nu alta? Cum „ştie” un cuarc ce tip de cuarc este şi ce masă trebuie să aibă? Cum reuşeşte o entitate atemporală, precum o lege a naturii, să pătrundă în timp pentru a acţiona asupra fiecărui electron în parte?

Suntem obişnuiţi cu ideea unor legi ale naturii atemporale care acţionează în timp, şi ea nu ni se mai pare ciudată. Dar dacă facem un pas înapoi, vedem că ea se bazează pe câteva presupuneri metafizice importante care nu sunt deloc evidente. Şi principiul precedenţei se bizuie pe presupuneri metafizice, dar acestea ne sunt mai puţin familiare decât cele care ne permit să credem în legi ale naturii atemporale.

Dacă metafizica implicată de principiul precedenţei e nou, în opinia mea el este cu mult mai economic decât unele dintre abordările actuale fantastice ale teoriei cuantice – precum cea că

realitatea noastră e una dintr-o mulţime infinită de lumi existente simultan. Când este vorba de teoria cuantică, trebuie să adoptăm câteva noţiuni foarte ciudate. Dar suntem liberi să alegem propriile noastre noţiuni ciudate – cel puţin până când experimentul ne va spune că una dintre abordările teoriei cuantice e superioară celorlalte. Sunt dispus să pariez că principiul precedenţei va genera idei noi pentru experimente ale căror rezultate ne-ar putea conduce către o fizică dincolo de mecanica cuantică.

S-ar putea obiecta că mecanica cuantică oferă deja predicţii despre felul în care se va comporta o nouă proprietate. Contrazice oare noua idee acele predicţii? Da, iar acesta e cel mai probabil motiv pentru care ea ar putea eşua. Să presupunem că producem, într-un calculator cuantic, un nou tip de stare corelată cuantic, care n-a fost niciodată produs în natură. în teoria cuantică convenţională, se poate calcula cum se va comporta acest sistem corelat

cuantic dacă asupra lui se efectuează o măsurătoare. Principiul precedenţei pe care îl propun sugerează posibilitatea ca aceste predicţii să nu fie confirmate de experiment. Aceasta echivalează cu a sugera că noi tipuri de stări corelate cuantic dau naştere unor noi interacţiuni în natură, sau unor schimbări dependente de context în interacţiunile existente. N-au fost observate niciodată asemenea interacţiuni noi sau vreo dependenţă de context a interacţiunilor, prin urmare scepticismul e justificat.

Dar rareori în istoria noastră ingeniozitatea umană a condus la crearea unor noi tipuri de stări corelate cuantic. Abia învăţăm s-o facem, iar dacă noua ipoteză e corectă, rezultatele experimentelor cu calculatoare cuantice ar putea fi surprinzătoare. Cel puţin, probabil că ea este vulnerabilă la falsificare prin experimente cu dispozitive cuantice care produc noi stări corelate cuantic. Ea contrazice o teză fundamentală a

reducţionismului, potrivit căreia viitorul sistemelor compuse, oricât de complexe, poate fi prezis doar pe baza cunoaşterii forţelor existente între perechi de particule elementare. Dar violările reducţionismului implicate sunt rare şi nesemnificative, încât aş sugera că e rezonabil să lăsăm experimentul să decidă.

Această nouă înţelegere a fizicii cuantice îndeplineşte două dintre criteriile pentru o teorie cosmologică. Ea satisface cerinţa de *închidere explicativă* (deşi într-o formă restrânsă, care permite o libertate autentică în cazurile noi). Principiul precedenţei afirmă că rezultatul unor viitoare măsurători e determinat de mulţimea cazurilor anterioare. Cazurile acestea au fost reale, prin urmare avem doar efectul unor lucruri care au fost reale în trecut asupra unor lucruri care vor fi reale în viitor. Evident, aceasta satisface şi criteriul că legile evoluează, şi o face într-un mod provocator, propunând că măsurătorile fără precedent nu sunt

guvernate de nici o lege anterioară. Pe măsură ce se acumulează rezultatele, precedentul este stabilit; numai după stabilirea unei precedenţe suficiente, viitoarele rezultate vor avea caracter legic.

Odată cu apariţia unor stări noi în natură, evoluează legi noi care să le ghideze – ceea ce sugerează că interacţiunile fundamentale pe care le observăm şi le descriem cu ajutorul Modelului Standard al fizicii particulelor au rezultat din „fixarea” *[locking* in] unor noi legi atunci când stările corespunzătoare electronilor, cuarcilor şi particulelor înrudite au apărut pentru prima oară odată cu răcirea universului la scurt timp după big bang.

Dar noua propunere *nu* satisface principiul raţiunii suficiente. În măsura în care sistemele cuantice sunt cu adevărat libere – în sensul că rezultatele individuale sunt nedeterminate –, principiul raţiunii suficiente este încălcat, deoarece nu există nici un motiv raţional pentru rezultatul unui experiment individual. Nu există absolut nici un

motiv pentru stabilirea momentului când se dezintegrează un nucleu radioactiv, sau pentru rezultatele exacte ale oricărora din celelalte cazuri în care mecanica cuantică oferă doar predicţii probabilistice.

Indiferent care va fi soarta acestei noi idei – şi, la fel ca în cazul oricărei idei speculative noi, trebuie să ne aşteptăm la posibilitatea unui eşec –, putem vedea utilitatea ipotezei legate de realitatea timpului. Realitatea timpului nu e doar o speculaţie metafizică; este o ipoteză capabilă să inspire idei noi şi să pună în mişcare un program de cercetare robust.

13. Bătălia dintre relativitate şi cuante

Principiul raţiunii suficiente este esenţial pentru programul de a extinde fizica la scara întregului univers, fiindcă stabileşte ca obiectiv descoperirea unui motiv raţional pentru orice alegere făcută de natură. Comportamentul acauzal, aparent liber, al sistemelor cuantice individuale reprezintă o provocare formidabilă pentru acel principiu.

Exigenţa raţiunii suficiente poate fi satisfăcută şi în fizica cuantică? Aceasta depinde dacă mecanica cuantică poate fi extinsă asupra întregului univers pentru a oferi „cea mai fundamentală” descriere a naturii cu putinţă, sau este doar o aproximaţie a unei teorii cosmologice foarte diferite. Dacă putem extinde teoria cuantică asupra întregului univers, atunci

teorema liberului-arbitru se aplică la scară cosmologică. Deoarece presupunem că nu există o teorie „mai fundamentală”, rezultă că natura este cu adevărat liberă. Libertatea sistemelor cuantice la scară cosmologică ar implica o limită pentru principiul raţiunii suficiente, fiindcă nu se poate preciza nici un motiv raţional sau suficient pentru nenumăratele alegeri libere pe care le fac sistemele cuantice.

Dar propunând această extensie a mecanicii cuantice, comitem eroarea cosmologică, forţând o teorie dincolo de domeniul limitat în care poate fi comparată cu experimentul. Un răspuns mai prudent ar fi să explorăm ipoteza că fizica cuantică e o aproximaţie, valabilă doar pentru subsisteme mici. Informaţia lipsă necesară pentru a determina ce va face un sistem cuantic ar putea fi prezentă undeva în univers, aşa încât să intre în joc atunci când includem o descriere cuantică a unui mic subsistem într- o teorie a întregului

univers.

Ar putea exista o teorie cosmologică deterministă care să dea naştere fizicii cuantice de fiecare dată când izolăm un subsistem şi ignorăm restul? Răspunsul este afirmativ, dar, aşa cum vom vedea numaidecât, ea are un preţ ridicat.

Conform unei asemenea teorii, probabilităţile teoriei cuantice se datorează numai ignoranţei noastre în privinţa întregului univers, şi ele sunt înlocuite cu rezultate bine definite la nivelul universului în ansamblu. Incertitudinile cuantice apar atunci când teoria cosmologică e trunchiată pentru a descrie o mică parte a universului.

O asemenea teorie a fost numită teorie cu *variabile ascunse,* fiindcă incertitudinile cuantice sunt rezolvate de informaţia despre univers care e ascunsă experimentatorului care lucrează cu un sistem cuantic izolat. Au fost propuse astfel de teorii şi ele oferă predicţii asupra fenomenelor cuantice în acord cu cele ale fizicii

cuantice. Ştim aşadar că, cel puţin în principiu, tipul acesta de rezolvare a problemelor mecanicii cuantice e posibil. Mai mult, dacă determinismul e restaurat prin extinderea teoriei cuantice la o teorie asupra întregului univers, atunci variabilele ascunse au legătură nu cu o descriere mai precisă a sistemului cuantic individual, ci cu relaţia acelui sistem cu restul universului. Le putem numi atunci *variabile ascunse relationale.*

Potrivit principiului libertăţii maxime, prezentat în capitolul anterior, teoria cuantică e teoria probabilistică în care incertitudinile intrinseci au cea mai mare valoare posibilă. Altfel spus, informaţia despre un atom de care am avea nevoie pentru a restabili determinismul, care e codificată în relaţiile acelui atom cu întregul univers, este maximă.

Adică, proprietăţile fiecărei particule din univers sunt înglobate maximal în relaţii ascunse cu

universul în ansamblu. Prin urmare, problema înţelegerii mecanicii cuantice e esenţială pentru căutarea noii teorii cosmologice vizate de celelalte argumente din această carte.

Dar asta presupune să renunţăm la relativitatea simultaneităţii şi să revenim la o imagine asupra lumii în care o definiţie absolută a simultaneităţii este valabilă pe întreg cuprinsul universului.

Aici trebuie să procedăm cu prudenţă – nu vrem să contrazicem succesele teoriei relativităţii. Printre acestea se află combinarea reuşită a relativităţii restrânse cu teoria cuantică numită teoria cuantică a câmpurilor. Ea este baza Modelului Standard al fizicii particulelor şi face numeroase predicţii exacte, care au fost confirmate de rezultatele multor experimente.

Teoria cuantică a câmpurilor are însă propriile sale dificultăţi. între acestea, o jonglerie complicată cu mărimi infinite necesară înainte de a putea extrage predicţii. Mai mult,

teoria cuantică a câmpurilor moşteneşte toate problemele conceptuale ale teoriei cuantice şi nu oferă nimic nou pentru rezolvarea lor. Aceste vechi probleme ale teoriei cuantice, împreună cu noile dificultăţi create de infinităţi, sugerează că şi teoria cuantică a câmpurilor este o aproximaţie a unei teorii mai profunde şi mai unificate.

De aceea, în pofida succeselor teoriei cuantice a câmpurilor, numeroşi fizicieni, începând cu Einstein, au vrut s-o înlocuiască cu o teorie mai profundă care să ofere o descriere completă a fiecărui experiment individual – ceea ce, aşa cum am văzut, nici o teorie cuantică nu face. Căutările lor s-au confruntat sistematic cu un conflict ireconciliabil între fizica cuantică şi relativitatea restrânsă. Conflictul acesta trebuie înţeles dacă avem în vedere î renaşterea timpului în fizică.

*

Există o tradiţie – începând cu Niels Bohr – care pretinde că eşecul

teoriei cuantice de a oferi o imagine despre ce se întâmplă într-un experiment individual este una dintre virtuţile sale, iar nu un defect. Aşa cum am observat în capitolul 7, Bohr a argumentat cu abilitate că scopul fizicii nu este să ofere o astfel de imagine, ci să creeze un limbaj în care putem vorbi unii cu alţii despre pregătirea experimentelor asupra sistemelor atomice şi despre rezultatele lor.

Scrierile lui Bohr mi se par fascinante, dar neconvingătoare. Aceeaşi impresie mi-o lasă şi unii teoreticieni contemporani, care susţin că mecanica cuantică nu „se referă” la lumea fizică, ci la *informaţia* pe care o avem despre lumea fizică. Aceşti teoreticieni argumentează că starea cuantică nu corespunde nici unei realităţi fizice; în schimb, ea doar codifică informaţia pe care noi, observatorii, o putem avea despre un sistem. Aceştia sunt oameni inteligenţi cu care îmi place să polemizez, dar mă tem că ei subapreciază ştiinţa. Dacă

mecanica cuantică e doar un algoritm pentru prezicerea probabilităţilor, nu putem oare găsi ceva mai bun? La urma urmei, ceva se întâmplă *cu adevărat* într-un experiment individual. Ceva, şi numai acel ceva, este realitatea pe care o numim electron sau foton. Nu ar trebui să fim în măsură să captăm esenţa electronului individual într-un limbaj conceptual şi un cadru matematic? Poate că nu există nici un principiu care să garanteze că realitatea fiecărui proces subatomic din natură poate fi înţeleasă de oameni şi poate fi exprimată prin limbaj sau matematică. Dar nar trebui măcar să încercăm? De aceea mă alătur lui Einstein. Cred că există o realitate fizică obiectivă şi că ceva descriptibil se întâmplă atunci când un electron sare de pe un nivel energetic al unui atom pe altul. Caut aşadar o teorie care să ofere această descriere.

Prima teorie cu variabile ascunse a fost prezentată de prinţul Louis de Broglie în 1927, la o faimoasă

întrunire a fizicienilor numită a V-a Conferinţă Solvay, la scurt timp după ce mecanica cuantică a fost adusă în forma sa finală.[1] Aceasta a fost inspirată de dualitatea undă/particulă, despre care am discutat în capitolul 7. Teoria lui de Broglie a rezolvat enigma undei şi particulei într-un mod care e simplitatea însăşi. El a postulat că există o particulă reală şi o undă reală. Ambele au existenţă materială. Mai înainte, în teza lui de doctorat din 1924, el postulase că dualitatea undă/particulă e universală, aşa încât particulele, ca de pildă electronii, sunt totodată unde. în articolul lui de Broglie din 1927, aceste unde se propagă la fel ca undele de pe suprafaţa apei, interferând şi difractându-se. Particula urmează unda. în plus faţă de forţele obişnuite – electricitate, magnetism şi gravitaţie asupra particulei acţionează o forţă numită forţa cuantică.

î i s

Aceasta atrage particula către creasta undei; ca urmare, în medie,

este mai probabil ca particula să fie găsită acolo, dar legătura e probabilistică. De ce? Fiindcă nu ştim de unde a pornit particula. întrucât ignorăm poziţia iniţială a particulei, nu putem prezice exact unde se va afla ea. Variabila ascunsă pe care n-o cunoaştem este poziţia exactă a particulei.

Ulterior, John Beli a propus ca teoria lui de Broglie să fie numită o teorie a *fiinţabilelor* [beub/es], spre deosebire de teoria cuantică, care este o teorie a observabilelor.[2] O fiintabilă este ceva ce

J există în orice moment, spre deosebire de o observabilă, care este o mărime ce-şi datorează existenţa unui experiment. în teoria lui de Broglie, atât particula, cât şi unda sunt fiinţabile. în particular, o particulă are întotdeauna o poziţie, chiar dacă teoria cuantică n-o poate prezice exact.

Cu toate acestea, imaginea lui de Broglie a unei lumi cuantice în care particulele şi undele sunt ambele reale n-a avut succes. în 1932,

marele matematician John von Neumann a publicat o carte în care a demonstrat că variabilele ascunse sunt imposibile.[3] Câţiva ani mai târziu, o tânără matematiciană germană pe nume Grete Hermann a atras atentia că demonstraţia lui

> * von Neumann avea un mare defect.[4] El comisese pare-se eroarea de a presupune ceea ce voia să demonstreze şi s-a amăgit pe el însuşi şi pe alţii camuflând presupunerea într-o axiomă tehnică. Dar articolul ei a fost ignorat.

Au trebuit să treacă două decenii pentru ca eroarea să fie redescoperită. Fizicianul american David Bohm a scris un tratat de mecanică cuantică la începutul anilor 1950.[5] Reflectând asupra misterelor teoriei cuantice, el a réinventât teoria variabilelor ascunse a lui de Broglie – despre care nu avusese cunoştinţă. El a scris un articol în care descria noua teorie cuantică, dar când l-a prezentat unei reviste, a primit raportul unor referenţi care

respingeau articolul întrucât contrazicea bine-cunoscuta demonstraţie a

>

lui von Neumann despre imposibilitatea variabilelor ascunse. Bohm a descoperit repede eroarea din demonstraţie şi a scris un articol în care atrăgea atenţia asupra ei.[6] De atunci, abordarea de Broglie-Bohm a mecanicii cuantice – cum este numită acum – a fost urmată de un mic număr de specialişti; este una dintre abordările fundamentelor teoriei cuantice care e urmată activ şi în prezent.

Cu teoria de Broglie-Bohm, înţelegem că teoriile cu variabile ascunse sunt o opţiune posibilă pentru soluţionarea enigmelor teoriei cuantice. Studierea ei s-a dovedit utilă, deoarece multe dintre trăsăturile sale se aplică oricărei teorii cu variabile ascunse posibile.

Teoria de Broglie-Bohm are o relaţie ambivalentă cu teoria relativităţii. Predictiile 5 >

statistice pe care le face sunt în acord cu mecanica cuantică şi pot

deveni compatibile cu relativitatea restrânsă – şi, în particular, cu relativitatea simultaneităţii. Dar spre deosebire de mecanica cuantică, teoria face mai mult decât predicţii statistice; ea oferă o imagine fizică detaliată despre ce se întâmplă în fiecare experiment individual. Unda, care evoluează în timp, influenţează deplasarea particulei; prin aceasta, ea violează relativitatea simultaneităţii, fiindcă legea prin care unda influenţează mişcarea particulei poate fi adevărată numai în sistemul de referinţă al unui singur observator. Prin urmare, în măsura în care considerăm că teoria cu variabile ascunse de Broglie—Bohm este o explicaţie a fenomenelor cuantice, trebuie să credem că există un observator privilegiat, ale cărui ceasuri măsoară o noţiune privilegiată de timp fizic.

Se dovedeşte că relaţia aceasta ambiguă cu relativitatea se extinde asupra tuturor teoriilor cu variabile ascunse posibile.[7]

Predicţiile statistice ale unei

asemenea teorii, care sunt în acord cu mecanica cuantică, vor fi în acord cu teoria relativităţii. Dar orice [3]
imagine mai detaliată a unor evenimente individuale va încălca principiul relativităţii şi va fi interpretabilă doar din perspectiva unui singur observator.

Teoria de Broglie-Bohm are un mare neajuns, anume că nu îndeplineşte unul dintre criteriile noastre pentru o teorie cosmologică – cerinţa ca toate acţiunile să fie reciproce. Unda influenţează deplasarea particulei, dar particula nu are nici o influenţă asupra undei. Din această cauză, teoria e nesatisfăcătoare ca teorie cosmologică. Există însă o teorie cu variabile ascunse alternativă care elimină această problemă.

*

Ca adept al concepţiei lui Einstein că trebuie să existe o teorie mai profundă dincolo de teoria cuantică, am încercat încă din vremea studenţiei să inventez teorii cu

variabile ascunse. La fiecare câţiva ani, las deoparte celelalte cercetări ale mele şi încerc să rezolv problema aceasta crucială. Timp de mulţi ani am lucrat la o metodă de abordare bazată pe o teorie cu variabile ascunse elaborată de

Edward Nelson, matematician la Princeton. încercările au funcţionat, dar toate aveau un element de artificialitate, prin aceea că anumite forte trebuiau echilibrate extrem de riguros pentru a reproduce predicţiile mecanicii cuantice. în 2006, am scris un articol explicând motivele tehnice ale acestei artificialităţi [8], după care am abandonat abordarea.

într-o după-amiază de la începutul toamnei lui 2010 am intrat într-o cafenea, am deschis un caiet de notiţe la o pagină albă şi m-am gândit la numeroasele mele încercări eşuate de a depăşi mecanica cuantică. Am început prin a reflecta la o versiune a mecanicii cuantice numită *interpretarea ansamblurilor [ensemble*

interpretation]. Această interpretare ignoră speranţa zadarnică de a descrie ce se petrece într-un experiment individual, şi în schimb descrie o colecţie imaginară a tuturor lucrurilor care s*ar putea* petrece în acel experiment. Einstein s-a exprimat foarte clar: „încercarea de a concepe descrierea cuantică drept descrierea completă a sistemelor individuale duce la interpretări teoretice nenaturale, care devin inutile imediat ce accepţi interpretarea că

descrierea se referă la ansambluri (sau colecţii) de sisteme, şi nu la sisteme individuale.”[9]

Să considerăm electronul solitar pe orbita sa în jurul unui proton într-un atom de hidrogen. Potrivit adepţilor interpretării ansamblurilor, unda nu e asociată cu atomul individual, ci cu colecţia imaginară de copii ale atomului. Electronii au poziţii diferite în membri diferiţi ai acestei colecţii. Prin » J urmare, dacă ar fi să observăm atomul de hidrogen, rezultatul ar echivala cu alegerea la întâmplare a unui atom din colecţia aceasta imaginară. Unda furnizează probabilităţile de a găsi electronul în fiecare dintre acele locuri.

Ideea aceasta mi-a plăcut multă vreme, dar brusc mi s-a părut cu totul deplasată. Cum ar putea o colecţie imaginară de atomi să influenţeze o măsurătoare efectuată asupra unui singur atom real? Aceasta ar contrazice principiul că nimic din afara universului nu poate să acţioneze asupra unui lucru din

interiorul său. Aşa încât m-am întrebat dacă aş putea înlocui acea colecţie imaginară cu o colecţie de atomi reali. Fiind reali, ei ar trebui să existe undeva în univers. Dar în univers există într-adevăr o mulţime de atomi de hidrogen. Ar putea fi ei „colecţia” la care se referă interpretarea ansamblurilor a mecanicii cuantice?

Să ne imaginăm că toţi atomii de hidrogen din univers participă împreună la un joc. în acest joc, fiecare atom recunoaşte care alţi atomi sunt într-o situaţie similară şi au o istorie similară cu a lui. Prin „similar” înţeleg că ei sunt descrişi probabilistic de aceeaşi stare cuantică. Două particule în lumea cuantică pot să aibă istorii identice, şi ca atare să fie descrise de aceeaşi stare cuantică, dar să difere prin valorile precise ale fiinţabilelor *[beables]* lor, ca de exemplu poziţia. Atunci când un atom recunoaşte că un alt atom are o istorie similară, el îi copiază proprietăţile, inclusiv

valorile exacte ale fiinţabilelor sale. Nu este nevoie ca cei doi atomi să fie aproape unul de altul pentru ca unul să copieze proprietăţile celuilalt; trebuie doar ca amândoi să existe undeva în univers.

Acesta e un joc extrem de nelocal, dar ştim că orice teorie cu variabile ascunse trebuie să exprime faptul că fizica cuantică este nelocală. Deşi ideea poate părea ciudată, poate că e mai puţin ciudată decât nişte

colecţii imaginare de atomi care influenţează atomii reali din lume. Am hotărât aşadar să aplic ideea şi să văd unde duce.

Una dintre proprietăţile copiate este poziţia electronului în raport cu protonul. Astfel, poziţia electronului dintr-un anumit atom va sălta de colo-colo în timp ce copiază poziţiile electronilor din alţi atomi din univers. Ca rezultat al acestor salturi, dacă măsor unde este electronul într-un anumit atom, va fi ca şi cum aş alege la întâmplare un atom din colecţia tuturor atomilor similari. Prin urmare starea cuantică e înlocuită cu colecţia atomilor similari. Pentru ca aceasta să funcţioneze, am inventat reguli ale jocului copierii, aşa încât probabilităţile de răspuns al atomului la măsurătoare să fie exact cele conforme cu mecanica cuantică.[10]

Şi am înţeles ceva care mi-a făcut o imensă plăcere: cum ar fi dacă un sistem *nu* ar avea nici o copie în univers? Atunci jocul de-a copiatul nu poate continua, iar mecanica

cuantică nu va fi reprodusă. Asta ar explica de ce mecanica cuantică nu se aplică sistemelor complexe mari, ca de pildă pisicile, tu sau eu: suntem unici. Se rezolvă astfel vechile paradoxuri care apar din aplicarea mecanicii cuantice unor lucruri mari precum pisicile şi observatorii.

Proprietăţile stranii ale sistemelor cuantice sunt limitate la sistemele atomice, fiindcă acestea există într-un număr mare de copii în univers. Incertitudinile cuantice apar din cauză că aceste sisteme îşi copiază reciproc în permanenţă proprietăţile.

Numesc aceasta *interpretarea ansamblurilor reale* a mecanicii cuantice, dar în notele mele ea apare ca interpretarea Veveriţei Albe, numită astfel după o veveriţă albinoasă solitară care a fost zărită într-un parc din Toronto. Ne putem imagina că toate veveriţele cenuşii sunt suficient de asemănătoare pentru ca mecanica cuantică să li se aplice – uită-te unde este una şi s-ar putea să vezi alta şi alta. Dar

veveriţa albă cocoţată pentru o clipă pe o creangă nu pare să aibă nici o copie, şi ca atare nu este cuantică. La fel ca tine sau ca mine, se poate considera că ea are proprietăţi unice care nu sunt împărtăşite sau copiate de la nimic altceva în univers.

Jocul electronilor săltăreti încalcă relativitatea restrânsă. Salturile străbat instantaneu distanţe arbitrar de mari, prin urmare ele necesită o noţiune de evenimente simultane separate prin distanţe mari. Aceasta la rândul ei necesită transmiterea informaţiei cu o viteză mai mare decât a

luminii. Totuşi, predicţiile statistice le reproduc pe cele ale teoriei cuantice, şi deci pot fi puse de acord cu relativitatea. Dar dacă privim în spatele scenei, există o simultaneitate privilegiată, şi deci un timp privilegiat, la fel ca în teoria de Broglie-Bohm.

în ambele teorii cu variabile ascunse pe care le-am prezentat, principiul raţiunii suficiente e satisfăcut. Există o imagine detaliată despre ce se întâmplă în

evenimente individuale şi care explică ceea ce mecanica cuantică vede ca incert. Dar preţul – încălcarea principiilor teoriei relativităţii – este mare.

*

Ar putea exista o teorie cu variabile ascunse compatibilă cu principiile teoriei relativităţii? Ştim că răspunsul este negativ. Dacă ar exista o asemenea teorie, ea ar încălca teorema liberului-arbitru – o teoremă din care rezultă că e imposibil să determinăm ce va face un sistem cuantic (şi deci nu există teorii cu variabile ascunse) atât timp cât ipotezele teoremei sunt satisfăcute. Una dintre acele ipoteze este relativitatea simultaneităţii.

Teorema mai sus-mentionată a lui John Beli exclude şi teoriile cu variabile ascunse locale – locale în sensul că ele presupun doar comunicarea cu viteze mai mici decât a luminii.

Dar o teorie cu variabile ascunse *este* posibilă, dacă încalcă

relativitatea.

Atâta timp cât doar verificăm predicţiile mecanicii cuantice la nivelul statisticii, nu e nevoie să întrebăm cum au fost stabilite efectiv corelaţiile. Numai atunci când încercăm să de-scriem cum e transmisă informaţia în fiecare pereche corelată cuantic avem nevoie de noţiunea de comunicare instantanee. Numai atunci când încercăm să trecem dincolo de predicţiile statistice ale teoriei cuantice, către o teorie cu variabile ascunse, intrăm în conflict cu relativitatea simultaneităţii.

Pentru a descrie cum sunt stabilite corelaţiile, o teorie cu variabile ascunse *trebuie să adopte definiţia simultaneităţii a unui anumit observator.* Aceasta presupune că există o noţiune privilegiată de repaus. Ceea ce, la rândul ei, presupune că mişcarea e absolută. Mişcarea are o semnificaţie absolută, fiindcă se poate vorbi la modul absolut despre cine se mişcă în raport cu acel observator – să-l numim Aristotel.

Aristotel este în repaus. Tot ceea ce el vede că se mişcă, se mişcă cu adevărat. Sfârşitul poveştii.

Cu alte cuvinte, Einstein a greşit. Newton a greşit. Galilei a greşit. Nu există nici o relativitate a mişcării.

Avem de ales. Sau mecanica cuantică este teoria finală şi vălul ei statistic nu poate fi străpuns pentru a atinge un nivel descriptiv mai profund, sau Aristotel a avut dreptate şi există o versiune privilegiată a mişcării şi repausului.

14. Timpul renăscut din relativitate

Am văzut că realitatea timpului deschide noi căi pentru a înţelege cum îşi alege universul legile, făcând totodată posibilă o nouă rezolvare a misterelor mecanicii cuantice. Dar mai trebuie să depăşim încă un mare obstacol, care este formidabilul argument din relativitatea restrânsă şi generală în favoarea imaginii universului-bloc. Argumentul acesta conduce la concluzia că reală este doar istoria universului ca un întreg atemporal.[1]

Argumentul în favoarea universului-bloc se bazează pe relativitatea simultaneităţii, care e un aspect al teoriei relativităţii restrânse (vezi capitolul 6). Dar dacă timpul este real, în sensul unui moment prezent real, există o graniţă între prezentul real şi viitorul încă nereal asupra căreia toţi observatorii pot cădea de acord.

Aceasta implică o noţiune fizică universală de simultaneitate care include evenimente îndepărtate şi, de fapt, întregul univers. Ea poate fi numită *timp privilegiat global* („global” însemnând aici că definiţia timpului se extinde pretutindeni în univers). Avem o confruntare directă între argumentul că trebuie să existe un timp privilegiat global şi argumentul că principiile relativităţii interzic aşa ceva. De asemenea, după cum am văzut în capitolul precedent, un timp privilegiat global e un ingredient necesar al oricărei teorii cu variabile ascunse, ceea ce ar explica alegerile făcute de sistemele cuantice individuale. Aşadar, după cum de asemenea am văzut în capitolul precedent, există un conflict între relativitatea simultaneităţii şi principiul raţiunii suficiente.

Scopul capitolului de faţă e să rezolve conflictul în favoarea principiului raţiunii suficiente. Aceasta înseamnă renunţarea la relativitatea simultaneităţii şi

adoptarea contrariului său: existenţa unui timp global privilegiat. în mod remarcabil, aceasta nu necesită abolirea teoriei relativităţii; se dovedeşte că o reformulare a sa e suficientă. Esenţa soluţiei este un mod nou şi mai profund de a înţelege relativitatea generală, care dezvăluie un nou concept de timp real.

Noţiunea de timp global privilegiat selectează o familie de observatori, răspândiţi în tot universul, ale căror ceasuri îl măsoară. Aceasta implică o stare privilegiată de repaus, amintind de noţiunea aristotelică de repaus sau de eterul din fizica secolului XIX, ambele infirmate de Einstein prin crearea relativităţii restrânse. Pentru

fizicienii dinaintea lui Einstein, eterul era necesar, fiindcă undele de lumină aveau nevoie de un mediu prin care să se propage. Einstein l-a demolat, fiindcă principiul relativităţii simultaneităţii implică inexistenţa eterului, a unei

stări de repaus absolut.[2]

Există aici nu doar o contradicţie, ci şi un motiv de descurajare. Eliminarea eterului a fost un mare triumf al raţionamentului concentrat asupra[3] indolenţei în gândire. Era atât de uşor să concepi lumea în termenii lui Aristotel. Galilei şi Newton au stabilit relativitatea sistemelor inerţiale, care a făcut imposibilă detectarea unei stări de repaus privilegiate urmărind mişcarea corpurilor. Dar ideea de repaus ca stare naturală a continuat să pândească tăcută în minţile fizicienilor, permiţând eterului să se aciueze atunci când teoreticienii au avut nevoie de un mediu prin care să se propage lumina. Doar Einstein a avut intuiţia necesară ca s-o demoleze complet. Şi totuşi se pare că avem motive să revenim la noţiunea de timp global privilegiat. Faptul că aceasta contrazice triumful lui Einstein asupra eterului este o barieră psihologică pentru a lua în serios argumentele în favoarea realităţii timpului – sau, cel puţin, aşa a fost

în cazul meu.

înainte de a discuta cum ar putea teoria să rezolve această contradicţie, să vedem ce are de spus experimentul. Noţiunea de timp global privilegiat implică un observator privilegiat, al cărui ceas măsoară acel timp privilegiat. Aceasta contrazice relativitatea sistemelor de referinţă inerţiale, conform căreia nu există nici o metodă experimentală sau observaţională de a distinge un observator presupus a se afla în repaus de cei care se mişcă cu o viteză constantă, dar arbitrară.

Primul lucru care trebuie remarcat este că universul e aranjat într-un mod care selectează efectiv o stare privilegiată de repaus. Ştim asta fiindcă, atunci când privim în jur cu telescoapele noastre, vedem că marea majoritate a galaxiilor se îndepărtează de noi cu aproximativ aceeaşi viteză în toate direcţiile. Dar aceasta poate fi adevărat pentru un singur observator, fiindcă cineva care se îndepărtează rapid de noi în spaţiu ar vedea galaxiile

aflate dinaintea sa, pe care le ajunge din urmă, mişcându-se mai încet decât cele dinapoia sa. Mai mult, avem dovezi solide că galaxiile sunt distribuite uniform în spaţiu, cel puţin atunci când poziţiile lor sunt mediate la o scară suficient de mare – altfel spus, universul pare la fel privit în orice direcţie. Din aceste fapte putem deduce că în fiecare punct din spaţiu va exista un observator special care vede galaxiile îndepărtându-se de el cu aceeaşi viteză în toate direcţiile.[3] Prin urmare, mişcarea galaxiilor selectează un observator privilegiat, şi deci o stare privilegiată de repaus, în fiecare punct din spaţiu.

O altă modalitate de a fixa o familie privilegiată de observatori este de a folosi fondul cosmic de microunde. Aceşti observatori privilegiaţi văd CMB ca având aceeaşi temperatură în toate direcţiile de pe cer.[4]

Din fericire, cele două familii de observatori privilegiaţi coincid. în medie, galaxiile par să fie în repaus

în acelaşi sistem de referinţă în care vedem că CMB are aceeaşi temperatură în toate direcţiile. Prin urmare, universul este organizat într-un mod care selectează o stare privilegiată de repaus. Dar faptul acesta nu contrazice neapărat principiul relativităţii mişcării. O teorie poate avea o simetrie care nu e respectată de soluţiile sale. Dimpotrivă: deseori soluţiile unei teorii îi rup simetriile. Faptul că în mod fundamental nu există nici o direcţie privilegiată în spaţiu nu împiedică vântul să bată astăzi dinspre nord. Universul nostru reprezintă doar una dintre soluţiile ecuaţiilor relativităţii generale. Acea soluţie poate fi asimetrică – altfel spus, ea poate să includă o stare privilegiată de repaus – fără să contrazică principiul că teoria are o simetrie. Universul ar fi putut porni printr-o rupere a simetriei.

Pe de altă parte, vrem să întrebăm de ce universul se află într-o stare specială aşa încât selectează în mod evident o familie privilegiată de observatori. Acesta e

un alt fel de a întreba de ce condiţiile iniţiale ale universului au fost atât de speciale.[5] Este o întrebare la care relativitatea generală nu poate răspunde de una singură – încă un indiciu că există ceva cu privire la univers care scapă acestei teorii. Merită aşadar să luăm în considerare posibilitatea ca starea privilegiată de repaus din univers să reprezinte ceva mai profund. Poate că ea ne spune ceva despre un nivel al fizicii „mai fundamental” decât relativitatea generală.

Dacă existenţa unei stări privilegiate de repaus în univers reprezintă ceva mai profund, atunci acea stare trebuie să se manifeste în alte tipuri de experimente. Dar la scări mai mici decât cea cosmologică, principiul relativităţii sistemelor inerţiale se verifică foarte bine. Predictiile teoriei relativităţii speciale a lui Einstein sunt confirmate de o cantitate formidabilă de dovezi experimentale, dintre care multe pot fi interpretate în sensul că

testează dacă există sau nu o stare privilegiată de repaus în natură.[5]

Prin urmare, observaţiile ne oferă un mesaj ambiguu. La scara cea mai mare, există dovezi pentru o stare privilegiată de repaus, care trebuie explicată prin ceva special în condiţiile iniţiale ale universului. Dar la toate scările mai mici, dovezile arată că principiul relativităţii e suveran. O soluţie ingenioasă la această problemă a fost concepută abia de curând. Se dovedeşte că relativitatea generală poate fi reformulată într-un mod elegant ca o teorie cu o noţiune de timp privilegiat. Această reformulare este doar un alt mod de a înţelege relativitatea generală, dar ea dezvăluie o sincronizare privilegiată din punct de vedere fizic a ceasurilor din întregul univers. în plus, alegerea acelei sincronizări privilegiate depinde de distribuţia materiei şi a radiaţiei gravitaţionale pe tot cuprinsul universului, aşadar nu este o revenire la timpul absolut al lui Newton. Ea nici nu poate fi

descoperită prin măsurători locale, deci e perfect compatibilă cu principiul relativităţii pentru subsisteme mici ale universului.

Teoria care permite această inversare a perspectivei se numeşte *dinamica formelor [shape dynamics].*[6] Conform principiului său fundamental, tot ce este real în fizică are legătură cu formele obiectelor, şi orice schimbare reală constă doar în schimbări ale acelor forme. Mărimea nu are nici o semnificaţie fundamentală, iar faptul că obiectele par să aibă o mărime intrinsecă e o iluzie.

Dinamica formelor a fost creată urmând un şir de raţionamente propus de Julian Barbour, a cărui cosmologie cuantică atemporală a fost discutată în capitolul 7. Barbour este un mare susţinător al filozofiei » relaţionale, iar drumul către dinamica formelor a început cu insistenţa lui de a face fizica pe cât de relaţională cu putinţă. Mulţi dintre paşii esenţiali i-a făcut chiar el în ultimul deceniu, împreună cu Niall O Murchadha şi câţiva tineri colaboratori, dar piesele finale au

fost aşezate în vara şi toamna anului 2010 de un trio de tineri care lucrau la Institutul Perimeter: doctoranzii Sean Gryb şi Henrique Gomes, şi un cercetător postdoctoral, Tim Koslowski.[7]

Odată ce cunoşti ideile de bază ale teoriei relativităţii, dinamica formelor e uşor de înţeles, fiindcă acea teorie este un pas următor natural. Să ne amintim unele aspecte ale simultaneităţii: are sens să spunem despre două evenimente învecinate că se petrec simultan. Le putem de asemenea ordona în timp, iar aceasta are sens, pentru că un eveniment ar putea fi cauza celuilalt. Dar dacă încercăm să ordonăm evenimente care sunt îndepărtate unul de altul, constatăm că nu există o ordine absolută asupra căreia toţi observatorii să cadă de acord. Pentru unii observatori, cele două evenimente sunt simultane; pentru alţii, un eveniment pare a fi în trecutul celuilalt.

Barbour ne spune că mărimea se comportă în acelaşi fel. în cazul a două obiecte învecinate, are sens să

le ordonăm în funcţie de mărime: dacă poţi pune un şoarece într-o cutie, are sens să spui că şoarecele este mai mic decât cutia. Dacă ai două mingi de fotbal, are sens să spui că ele au acelaşi diametru. Aceste comparaţii au sens fizic, iar toţi observatorii vor fi de acord în privinţa lor.

Dar acum să ne întrebăm dacă şoarecele de aici este mai mic decât o cutie din galaxia învecinată. întrebarea aceasta mai are sens? Are ea un răspuns asupra căruia toţi observatorii vor cădea de acord? Problema este că, fiind departe unul de altul, nu putem pune şoarecele în cutie pentru a vedea dacă încape.

Ca să răspundem la întrebare, putem deplasa cutia acolo unde se află şoarecele şi să vedem dacă el încape. Dar aceasta răspunde la o altă întrebare, fiindcă acum cutia şi şoarecele sunt în acelaşi loc. De unde ştim că nu există un efect fizic prin care tot ce aducem în galaxia noastră se dilată, aşa încât o cutie de mărimea ochiului unui şoarece

devine, pe drum, suficient de mare pentru a cuprinde şoarecele? Am putea lăsa cutia acolo unde se află şi în schimb să trimitem la ea o riglă. Dar de unde ştim că rigla nu suferă efectul invers, contractându-se în timp ce se deplasează de la şoarece la cutia îndepărtată?

Acestea sunt raţionamentele care l-au condus pe Barbour şi prietenii săi să propună ideea că nu are sens să comparăm dimensiunile unor obiecte aflate departe unul de altul. Ce putem face este să comparăm formele, deoarece formele nu sunt supuse aceluiaşi tip de modificare arbitrară. Singura excepţie de la relativitatea mărimii este că volumul întregului univers în fiecare moment de timp trebuie să rămână neschimbat. Aceasta nu e uşor de explicat în limbaj netehnic, dar ideea este că dacă într-un loc totul se contractă, atunci trebuie să existe în acelaşi timp o compensare prin care altundeva totul se dilată cu aceeaşi cantitate, aşa încât în ansamblu volumul universului nu se modifică. Desigur, volumul se poate

schimba în timp, pe măsură ce universul se extinde.

Deşi dinamica formelor este radicală în privinţa mărimilor, ea este conservatoare în privinţa timpului. Există un ritm unic de curgere a timpului. El este acelaşi pretutindeni în univers, şi nu ne este permis să-l modificăm.

Relativitatea generală este oarecum contrariul. Mărimile obiectelor sunt fixe şi rămân fixe atunci când le deplasăm, de aceea are sens să comparăm mărimile lucrurilor îndepărtate. în schimb relativitatea generală e flexibilă în privinţa scurgerii timpului. Nu are sens să întrebăm dacă un ceas aflat departe de noi merge mai repede sau mai încet decât un ceas aflat aproape de noi, întrucât accelerarea şi încetinirea ceasurilor îndepărtate sunt printre schimbările asupra cărora observatorii nu vor cădea de acord. Chiar dacă îti sincronizezi ceasul cu un orologiu îndepărtat, ele se pot desincroniza, fiindcă nu are nici un sens fizic ca ritmurile lor să rămână identice.

Pe scurt, în relativitatea generală mărimea este universală şi timpul este relativ, pe când în dinamica formelor timpul este universal şi mărimea este relativă. în mod remarcabil totuşi, aceste două teorii sunt echivalente, deoarece – printr-un truc matematic ingenios pe care n-am să-l descriu aici — relativitatea timpului şi relativitatea mărimii pot fi schimbate între ele. Prin urmare, istoria universului poate fi descrisă în două moduri, în limbajul relativităţii generale sau în limbajul dinamicii formelor. Conţinutul fizic al celor două descrieri va fi acelaşi, iar orice întrebare despre o cantitate observabilă va avea acelaşi răspuns.

Dacă istoria e descrisă în limbajul relativităţii generale, definiţia timpului este arbitrară. Timpul este relativ şi nu are sens să întrebăm cât e ora în locuri îndepărtate. Dar dacă istoria e descrisă în limbajul dinamicii formelor, apare noţiunea de timp universal.

Preţul plătit este că mărimea devine relativă şi nu are sens să comparăm

mărimile unor obiecte aflate departe unul de altul.

La fel ca imaginea undă/particulă din teoria cuantică, acesta e un exemplu de ceea ce fizicienii numesc dualitate – două descrieri ale aceluiaşi fenomen, fiecare fiind completă, dar incompatibilă cu cealaltă. Această dualitate specifică este una dintre descoperirile cele mai profunde ale fizicii teoretice contemporane. Ea a fost propusă într-o formă diferită[8] în 1995 de Juan Maldacena în contextul teoriei corzilor, iar de atunci a devenit cea mai influentă idee din acel domeniu. La data când scriu aceste rânduri, relaţia exactă dintre dinamica formelor şi dualitatea lui Maldacena nu e clară, dar pare probabil să existe o corespondenţă.[9]

Spre deosebire de ce se întâmplă în relativitatea generală, în teoria duală există un timp privilegiat. Putem folosi faptul că cele două teorii sunt interşanj abile pentru a transfera timpul din lumea dinamicii formelor în lumea relativităţii generale. Acolo el se

manifestă ca un timp privilegiat, ascuns în ecuaţii.[10]

Noţiunea de timp global implică faptul că pentru fiecare eveniment în spaţiu şi timp există un observator privilegiat al cărui ceas îi măsoară trecerea. Dar acel observator special nu poate fi selectat prin nici o măsurătoare efectuată într-o regiune mică. Alegerea timpului global special este determinată de modul în care e distribuită materia în univers. Aceasta coincide cu faptul că experimentele sunt în acord cu principiul relativităţii la scări mai mici decât cea a universului. în consecinţă, dinamica formelor realizează un acord între succesul experimental al principiului relativităţii şi necesitatea unui timp global cerut de teoriile cu legi care evoluează şi de explicaţiile cu variabile ascunse ale fenomenelor cuantice.

Aşa cum am observat, una dintre cantităţile care nu pot fi schimbate atunci când extindem sau contractăm scările dimensiunilor

este volumul total al universului la un moment dat. Ceea ce face ca mărimea totală a universului şi expansiunea lui să aibă sens, iar acesta poate fi considerat un ceas fizic universal. Timpul a fost redescoperit.

15. Emergenţa spaţiului

Cel mai misterios aspect al lumii se află chiar sub ochii noştri. Nimic nu e mai obişnuit decât spaţiul, dar dacă îl examinăm îndeaproape, nimic nu e mai misterios. Eu cred că timpul este real şi esenţial pentru o descriere fundamentală a naturii. Dar cred că probabil spaţiul se va dovedi a fi o iluzie de acelaşi gen ca temperatura şi presiunea – un mod util de a organiza impresiile noastre asupra lucrurilor la scară mare, dar numai un mod aproximativ şi emergent de a percepe lumea în ansamblul ei.

Teoria relativităţii a contopit spaţiul cu timpul, ducând la imaginea universului-bloc, în care

spaţiul şi timpul sunt înţelese ca moduri subiective de a diviza o realitate cvadridimensională. Ipoteza realităţii timpului eliberează timpul din falsele constrângeri ale acestei unificări. Putem dezvolta ideile noastre despre timp dacă înţelegem că el este foarte diferit de spaţiu. Separarea timpului de spaţiu eliberează totodată şi spaţiul, deschizând calea către o mai bună înţelegere a naturii sale. După cum vom vedea în capitolul de faţă, ea duce la ideea revoluţionară că spaţiul, la nivel cuantic, nu e fundamental, ci emerge dintr-o ordine mai profundă.

Simplul fapt că lumea obiectelor din viaţa de zi cu zi e organizată în termeni de „aproape” şi „departe” este o consecinţă a două trăsături esenţiale ale realităţii:

existenţa spaţiului[5] şi faptul■* că lucrurile trebuie să fie în apropierea noastră pentru a ne influenţa (proprietatea pe care fizicienii o numesc caracter local *[locality]).* Lumea este plină de lucruri care reprezintă pericole sau oportunităţi,

dar la un moment oarecare cele mai multe dintre ele nu ne preocupă. De ce? Fiindcă sunt departe de noi. Tigrii din ţări aflate dincolo de ocean ne-ar mânca într-o clipă, dar nu trebuie să ne facem griji, fiindcă ei nu sunt în apropierea noastră. Acesta e darul spaţiului; aproape totul e foarte departe de noi, şi deocamdată poate fi ignorat.

Imaginaţi-vă o lume care conţine o enormă diversitate de obiecte, fără organizarea spaţiului. Orice lucru ar putea influenta orice alt lucru în orice moment. Nu ar exista distantă care să tină lucrurile separate.

Prin simţurile noastre, suntem conştienţi în mod acut de lucrurile aflate în preajma noastră. Dar nu sunt multe. Este o trăsătură a spaţiului că doar puţine lucruri se pot afla în imediata noastră apropiere. Aceasta e o consecinţă a numărului mic de dimensiuni ale spaţiului. Să ne gândim câţi vecini locuiesc chiar alături de noi. Numai două familii, câte una de

fiecare parte. Dar câţi vecini apropiaţi putem avea? Patru – două familii alături, una peste drum şi una în spate. Dacă locuim într-un apartament de bloc, numărul vecinilor cei mai apropiaţi creşte la şase, deoarece sunt oameni dedesubtul nostru, iar puştii care se uită la televizor până la trei dimineaţa sunt chiar deasupra. Numărul vecinilor cei mai apropiaţi creşte proporţional cu numărul de dimensiuni – doi într-o singură dimensiune, patru în două dimensiuni, şase în trei dimensiuni. Relaţia e simplă: numărul vecinilor este dublul numărului de dimensiuni.

Prin urmare, dacă am trăi într-un spaţiu cu cincizeci de dimensiuni, vecinii noştri cei mai apropiaţi ar putea fi în număr de o sută. Dar aşa, captivi în trei dimensiuni, dacă vrem să locuim într-o clădire cu o sută de alte familii, trebuie să fie o clădire mare, iar majoritatea lor nu vor fi vecini apropiaţi. În trei dimensiuni, avem vecini cu care nu ne întâlnim niciodată.

Fiindcă veni vorba, aceasta e o problemă în planificarea unui institut ştiinţific, unde vrem să maximizăm şansele interacţiunilor întâmplătoare între oameni cu idei şi preocupări diferite. Când a fost inaugurat Institutul Perimeter, cu şapte oameni de ştiinţă, aceasta nu era o problemă; acum, când sunt peste o sută, e o dificultate. Ca fizicieni teoreticieni, am luat în considerare creşterea numărului de dimensiuni ale clădirii pe măsură ce deveneam mai mulţi, dar nu i-am putut lămuri pe arhitecţi.[1]

Fapt este că suntem captivi într-o lume cu un număr redus de dimensiuni. Aceasta, mai mult decât orice altceva, ne fereşte de tigri, vecini insomniaci cu televizoare şi alte fiare, dar totodată este şi principalul obstacol în încercarea noastră de a ne spori oportunităţile.

înainte de apariţia tehnologiei, faptul că suprafaţa Pământului e bidimensională i-a menţinut pe oameni într-o relativă izolare. Majoritatea oamenilor au întâlnit în decursul vieţii doar câteva sute de

semeni – cei la care puteau ajunge mergând pe jos. Ei şi-au dat toată silinţa, organizând petreceri şi sărbători pentru a spori interacţiunea (la fel cum fac şi oamenii de ştiinţă) cu satele învecinate, iar câţiva călători îndrăzneţi s-au aventurat în străinătate. Dar spaţiul a făcut ca aproape toţi să ne fim străini unii altora.

Trăim acum într-o lume în care tehnologia a învins limitele inerente vieţii într-un spaţiu cu un număr mic de dimensiuni. Să considerăm doar efectul telefoanelor mobile. Pot să-l iau pe al meu şi să vorbesc instantaneu cu aproape oricine altcineva, întrucât cinci miliarde din cei şapte miliarde de oameni de pe planetă au telefoane mobile. Tehnologia aceasta a dizolvat efectiv spaţiul. Din perspectiva telefoanelor mobile, trăim într-un spaţiu cu 2,5 miliarde de dimensiuni, în care aproape toţi semenii noştri umani sunt vecinii noştri cei mai apropiaţi.

Internetül, desigur, a făcut

acelaşi lucru. Spaţiul care ne separă a fost dizolvat de o reţea de conexiuni care în esenţă ne apropie pe toţi. Intr-adevăr, locuim împreună într-un spaţiu cu un număr mare de dimensiuni. Devenim rapid o lume în care mulţi oameni pot opta să trăiască aproape exclusiv în acel spaţiu multidimensional. E nevoie doar de puţin mai multă realitate virtuală – aşa încât, să zicem, un apel pe telefonul mobil să convoace o hologramă a persoanei apelate, iar holograma ta să fie proiectată acolo unde se află ea.

Intr-o lume multidimensională cu un potenţial de conectare nelimitat, suntem confruntaţi cu mult mai multe opţiuni decât în lumea fizică cu trei dimensiuni. O sumedenie de dificultăţi cu care se confruntă lumea noastră interconectată se datorează acestei enorme extinderi a posibilităţilor, iar majoritatea mediilor de socializare care au proliferat sunt con-cepute pentru a le exploata şi administra.

Să ne închipuim un copil crescut

în acea lume multidimensională, în care spaţiul nu joacă nici un rol. Imaginea lui asupra lumii va fi cea a unei vaste reţele în care un sistem de conexiuni fluide şi dinamice face ca oricine să fie la doar un pas de oricine altcineva. Iar acum să ne imaginăm că cineva întrerupe curentul. Alimentarea cu energie încetează şi cetăţenii din reţea se trezesc într- o lume cu mai multe constrângeri şi mai puţin stimulatoare. Ei descoperă că trăiesc realmente în trei dimensiuni şi că spaţiul separă majoritatea oamenilor. Numărul vecinilor se restrânge de la cinci miliarde la doar câţiva, iar aproape toţi ceilalţi sunt dintr-odată foarte departe.

Această imagine e o metaforă pentru modul în care unii fizicieni concep acum spaţiul. Noi (da, mă număr printre ei) credem că spaţiul este o iluzie şi că adevăratele relaţii care alcătuiesc lumea sunt o reţea dinamică oarecum asemănătoare cu Internetül sau cu reţelele de telefonie mobilă. Percepem iluzia spaţiului pentru că majoritatea

conexiunilor posibile sunt întrerupte, împingând totul foarte departe.

Imaginea aceasta rezultă dintr-o clasă de abordări ale gravitaţiei cuantice în care nu spaţiul, ci timpul e considerat fundamental. Aceste abordări postulează o structură cuantică fundamentală pentru a cărei definire spaţiul nu e necesar. Ideea este că spaţiul reprezintă o proprietate emergentă, la fel cum termodinamica emerge din fizica atomilor. Asemenea abordări sunt independente de fundal, deoarece nu presupun existenţa unei geometrii de fundal fixe. Noţiunea primară e în schimb cea de graf sau de reţea, definite în mod intrinsec, fără raportare la spaţiu.

Prima dintre aceste abordări în ordinea elaborării se numeşte *triangulaţii dinamice cauzale [causal dynamical triangulations],* inventată de Jan Ambjorn şi Renate Loll şi perfecţionată împreună cu colaboratorii lor.[2] Ea a fost urmată de *grafuri cuantice*

[quantum graphity] (numită astfel deoarece propune că entităţile fundamentale ale naturii sunt grafurile), inventată de Fotini Markopoulou[3] şi investigată împreună cu colaboratorii ei.[4] Imaginea intuitivă pe care tocmai am oferit-o, a spaţiului care rezultă din întreruperea conexiunilor într-o reţea, i se potriveşte cel mai bine. O a treia abordare – în care există un timp global, considerat fundamental, dar în care spaţiul nu este emergent – a fost propusă de Petr Horava.[5] Anumite abordări ale teoriei corzilor, numite modelul matricial *[matrix-model],* pot fi de asemenea descrise în felul acesta.[6]

Considerând că timpul e fundamental, aceste abordări diferă de mai vechile abordări independente de fundal care postulează că spaţiul-timp – în întregime, la fel ca în universul-bloc – trebuie să fie emergent dintr-o descriere „mai fundamentală” în care nici spaţiul, nici timpul nu sunt entităţi primare. Acestea includ *gravitaţia cuantică cu bucle [loop*

quantum gravity], mulţimile cauzale [causal sets] şi unele abordări ale teoriei corzilor.

Sunt învăţăminte de tras din succesele şi eşecurile fiecărui set de abordări. Ele constituie povestea spusă în capitolul de faţă.

O metaforă utilă care apare în mai multe abordări ale gravitaţiei cuantice este să ne imaginăm că spaţiul nu e continuu, ci e o reţea de puncte discrete (vezi figura 13). Particulele se află în nodurile reţelei şi se deplasează prin salturi către vecinii cei mai apropiaţi. Două particule exercită o forţă sau influenţă una asupra celeilalte numai dacă sunt învecinate. Dacă numărul de dimensiuni ale reţelei e mic, numărul particulelor disponibile pentru interacţiune e mic; el creşte, la fel ca în cazul discuţiei noastre despre vecinii umani, odată cu creşterea numărului de dimensiuni.

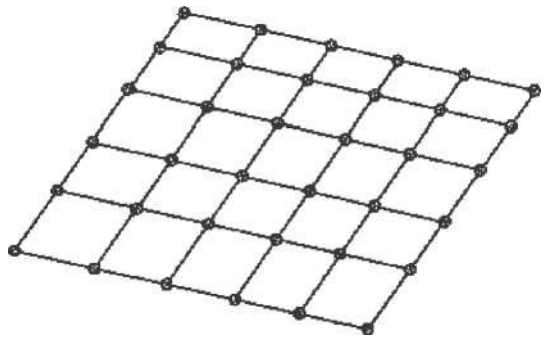


Fig. 13. Spaţiul ca o reţea de puncte. O particulă se poate afla doar într- unul dintre noduri, iar mişcarea constă în salturi de la un nod la altul.

Ne putem imagina lumina ca fotoni care se deplasează prin salturi, de la un vecin la următorul, de-a lungul reţelei. A trimite un foton către o particulă îndepărtată presupune multe salturi, şi prin urmare e nevoie de timp.

Să ne imaginăm acum o lume într-o reţea care are mult mai multe conexiuni. Lucrurile sunt mai apropiate unul de altul, în sensul că e nevoie de mai puţini paşi pentru a stabili o legătură prin reţea, deci de mai puţin timp pentru a trimite un semnal între oricare două noduri ale reţelei.

Unul dintre principiile noastre pentru o nouă cosmologie afirmă că nimic nu poate să acţioneze fără a suferi la rându-i o acţiune. Prin urmare, dacă reţeaua le spune particulelor cum să se mişte, nu ar trebui ca şi reţeaua să se modifice

datorită poziţiei particulelor? Aceasta ar constitui imaginea unei lumi fizice nu foarte diferită de lumea noastră umană interconectată. Lumea este o reţea dinamică de relaţii; tot ce există în reţea şi însăşi structura reţelei sunt supuse evoluţiei. Aceasta e perspectiva asupra lumii în abordările independente de fundal ale gravitaţiei cuantice.

Teoria gravitaţiei cuantice cu bucle este cea mai veche şi cea mai bine dezvoltată dintre abordările independente de fundal ale gravitaţiei cuantice, de aceea să începem povestea cu ea. Gravitaţia cuantică cu bucle descrie spaţiul ca pe o reţea dinamică de relaţii. O stare cuantică tipică a geometriei spaţiului poate fi reprezentată ca un graf – adică o figură cu numeroase muchii, care unesc între ele noduri (vezi figura 14). Muchiile (care indică un fel de relaţii primare între noduri) au etichete care specifică relaţiile dintre nodurile pe care le conectează. Etichetele pot fi numere întregi obişnuite, câte unul

pentru fiecare muchie. (Şi nodurile au etichete, dar definiţia lor e mai complicată şi nu-l voi plictisi pe cititor cu asta.)

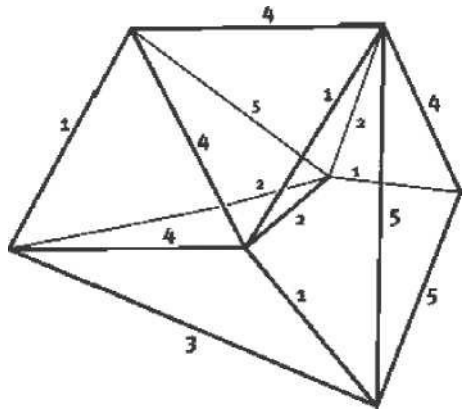


Fig. 14. O stare cuantică tipică a geometriei spaţiului, reprezentată ca un graf.

Să ne amintim că în fizica cuantică energia unui atom este cuantificată şi doar anumite stări, cu anumite energii discrete, au valori bine definite ale energiei. Potrivit gravitaţiei cuantice cu bucle, volumele regiunilor spaţiale sunt de asemenea cuantificate; ele pot avea doar anumite valori discrete ale volumului. La fel şi ariile suprafeţelor.[7] Gravitaţia cuantică cu bucle face predicţii exacte pentru spectrele volumului şi ariei. Acestea au consecinţe care ar putea fi observate – de exemplu, implică predicţii exacte pentru

spectrul radiaţiei emise de găurile negre mici.[8]

Să considerăm un obiect din otel – un ac de cusut, să zicem. Arată destul de neted, dar ştim că este alcătuit din atomi într-un aranjament regulat. Dacă privim la scara atomilor, netezimea metalului cedează locul unei imagini alcătuite din unităţi discrete – atomi – conectaţi între ei într-un mod regulat. Spaţiul de asemenea apare „neted”, sau continuu, dar dacă gravitaţia cuantică e corectă, atunci şi el este alcătuit din unităţi discrete, ce pot fi considerate „atomi” de spaţiu. Dacă am putea face observaţii la scara Planck, am vedea netezimea spaţiului transformată în imaginea aceasta.

În relativitatea generală, aşa cum am văzut, geometria spaţiului se dovedeşte a fi dinamică. Ea evoluează în timp, ca reacţie la mişcarea materiei sau la propagarea undelor gravitaţionale. Dar dacă la scara Planck geometria e într-adevăr cuantică, schimbările în geometria spaţiului trebuie să

provină din schimbări care se produc la acea scară. De exemplu, trebuie să existe oscilaţii în geometria cuantică a spaţiului corespunzând trecerii unei unde gravitaţionale. Un triumf al gravitaţiei cuantice cu bucle este că dinamica spaţiului-timp, care în relativitatea generală e dată de ecuaţiile lui Einstein, poate fi într-adevăr codificată în reguli simple pentru evoluţia în timp a graiurilor.[9] Acestea sunt ilustrate în figura 15.

Codificarea ecuaţiilor lui Einstein în reguli de modificare a graiurilor funcţionează în ambele sensuri. Putem porni de la teoria lui Einstein şi să urmăm o procedură pentru transformarea unei teorii clasice într-una cuantică. Procedura aceasta a fost dezvoltată şi testată pe multe teorii diferite. Aplicarea ei la relativitatea generală prezintă dificultăţi tehnice, dar dacă este efectuată corect duce la imaginea descrisă aici, cu reguli precise pentru modificarea în timp a graiurilor. în acest fel, spunem că gravitaţia cuantică cu bucle este

„cuantificarea” relativităţii generale.[10]

Invers, putem pomi de la regulile cuantice pentru modificarea graiurilor, şi să întrebăm dacă regulile relativităţii generale clasice pot fi deduse ca o aproximaţie a acestora. Este analogul deducerii ecuaţiilor care descriu curgerea apei din legile fundamentale urmate de atomii care alcătuiesc apa. Exerciţiul acesta se numeşte deducerea teoriei clasice din limita clasică a teoriei cuantice. Este dificil, dar de curând s-au obţinut rezultate pozitive în gravitaţia cuantică cu bucle.[11] Ele folosesc o abordare spaţio-temporală a spaţiului-timp cuantic numită modelul spumei de spin *[spin-foam model],* în care se consideră că reţeaua de la baza geometriei spaţiului face parte dintr-o reţea mai vastă cuprinzând spaţiul şi timpul. Prin urmare, spuma de spin oferă o versiune cuantică a imaginii universului-bloc, în care spaţiul şi timpul sunt unificate într-o singură structură. Ceea ce impresionează

mai cu seamă e apariţia unor rezultate independente care arată că relativitatea generală emerge din modele ale spumei de spin.

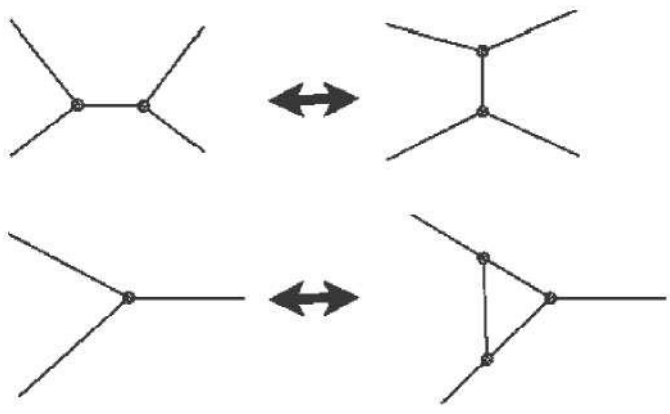


Fig. 15. Reguli pentru evoluţia în timp a graiurilor în gravitaţia cuantică cu bucle. Fiecare mişcare poate să acţioneze asupra unei mici porţiuni a grafului, după cum este arătat.

Reprezentarea cuantic-geometrică poate fi lesne completată cu materie. Este aceeaşi poveste ca în modelul reticular, doar că acum reţeaua se poate modifica. Putem plasa particule în noduri. Ele se deplasează sărind dintr-un nod într-altul, de-a lungul muchiilor, la fel ca în modelul reticular. Dacă privim de la o distanţă suficientă, nu vom vedea noduri sau graiuri, ci doar geometria netedă pe care acestea o aproximează. Particula pare atunci

că se deplasează prin spaţiu. Aşadar, atunci când aruncăm o minge, poate că în realitate atomii din minge sar de la un atom de spaţiu la altul.

Totuşi, rezultatele potrivit cărora relativitatea generală emerge din gravitaţia cuantică cu bucle, oricât de importante ar fi, au anumite limitări. în unele cazuri, descrierea e limitată la o mică regiune din spaţiu-timp înconjurată de o graniţă. Prezenţa graniţei ne spune că gravitaţia cuantică cu bucle poate fi cel mai bine concepută ca descrierea unei mici regiuni din spaţiu-timp, şi ca atare se încadrează în paradigma newtoniană.

Există de asemenea rezultate din teoria corzilor care sugerează că spaţiul-timp poate emerge într-o regiune mărginită – cel puţin atunci când constanta cosmologică ia o valoare negativă. Ele apar în contextul dualităţii dintre relativitatea generală şi teoria invariantă la schimbarea scării [sca/e- *invariant theory]* propusă de

Juan
Maldacena, pe care am menţionat-o în capitolul 14. Dacă conjectura lui e corectă – şi multe rezultate o susţin –, atunci spaţiul- timp clasic poate emerge în interiorul unei regiuni a cărei graniţă are o geometrie clasică fixă.

Prin urmare, atât gravitaţia cuantică cu bucle, cât şi teoria corzilor sugerează că gravitaţia cuantică poate fi înţeleasă ca descrierea unor regiuni mărginite din spaţiu- timp, încadrându-se astfel în paradigma newtoniană. Rezultatele cele mai bine fundamentate sunt obţinute în contextul

fizicii într-o cutie[3], fără să-şi pună problema dacă descrierea poate fi extinsă la o teorie a întregului univers închis.

O altă presupunere a rezultatelor gravitaţiei cuantice cu bucle privind emergenţa spaţiului-timp este că grafurile care descriu geometria cuantică a spaţiului sunt limitate la acelea care deja arată ca o imagine discretă a unui spaţiu cu puţine

dimensiuni.[12] în aceste cazuri, caracterul local [/oca/iţy] al spaţiului e exprimat de faptul că fiecare vârf sau nod din graf este conectat doar cu un număr mic de alte noduri. La fel ca într-un cartier suburban, fiecare nod are numai câţiva vecini foarte apropiaţi.[3]

Pentru a se deplasa între două noduri îndepărtate, o particulă trebuie să facă numeroase salturi. Este nevoie de timp pentru ca o particulă, sau o cuantă purtătoare de informaţie, să străbată un drum lung. De aceea apare descrierea unei lumi în care lumina are o viteză finită. Totuşi, există multe stări ale geometriei cuantice în care nu apare o versiune elegantă a caracterului local. Există graiuri în care orice nod e conectat cu oricare altul în doar câţiva paşi. Deocamdată, metodele gravitaţiei

cuantice cu bucle nu explică cum evoluează aceste geometrii cuantice.

Să considerăm un exemplu în două dimensiuni spaţiale – o regiune întinsă a unui plan, aşa cum se arată în figura 13. Planul acesta poate avea o descriere cuantic-geometrică, reprezentată în figură în termenii unui graf. Iar acum să considerăm două noduri care în graf se găsesc la o distanţă de mulţi paşi unul de altul; le vom numi Ted şi Mary. Putem crea un nou graf din cel vechi adăugând încă o muchie, care-l conectează pe Ted direct cu Mary (vezi figura 16). Aceasta reprezintă o geometrie cuantică în care Mary şi Ted sunt vecini. E ca şi cum amândoi tocmai şi-ar fi cumpărat telefoane mobile; spaţiul care-i desparte s-a dizolvat.

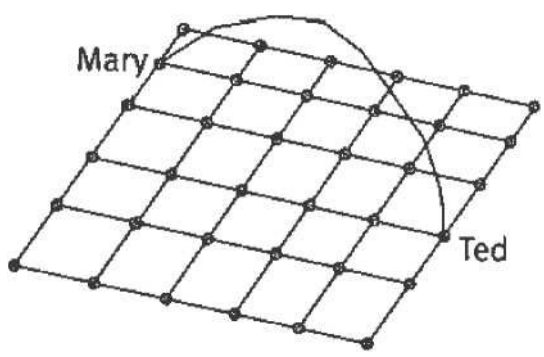


Fig. 16. Adăugarea unei legături nelocale perturbă caracterul local, aducând două puncte îndepărtate

aproape unul de altul.

Dacă geometria este într-adevăr cuantică, atunci există pesemne IO^{180} noduri în universul nostru observabil – adică un nod pentru fiecare lungime Planck la cub. Dacă fiecare nod e conectat cu numai câţiva vecini apropiaţi, geometria cuantică poate să arate, la scară mare, la fel ca o geometrie clasică. Caracterul local al spaţiului emerge atunci din tipul particular de geometrie cuantică ce-l reproduce. în cazul acesta, numărul muchiilor şi cel al nodurilor sunt aproximativ egale, deoarece fiecare nod este conectat cu numai câţiva vecini. Dar adăugând o singură muchie la numărul enorm de muchii care alcătuiesc geometria cuantică, încălcăm drastic caracterul local al spaţiului, întrucât creăm posibilitatea ca noduri foarte îndepărtate precum Ted şi Mary să comunice practic instantaneu. Numim aceasta *caracter local perturbat,* iar muchia adăugată o numim *legătură nelocală.*[13]

Este remarcabil de uşor să perturbi caracterul local adăugând o singură legătură nelocală. Aceasta ar fi doar una dintre cele IO^{180} muchii din universul observabil, dar există IO^{360} posibilităţi de a o introduce. Dacă adăugăm în mod aleatoriu o muchie unui graf cu IO^{180} noduri, e mult mai probabil să adăugăm o legătură nelocală decât una locală, în primul caz numărul posibilităţilor fiind incomparabil mai mare. Nodul unuia din capete poate fi conectat cu un număr mic de alte noduri dacă vrem să formăm o conexiune locală. Dar dacă nu ne pasă de caracterul local, capătul celălalt poate fi orice nod din univers. Vedem încă o dată ce constrângere enormă reprezintă caracterul local.

Ne-am putea întreba câte legături nelocale pot fi adăugate geometriei cuantice a spaţiului înainte să se observe în lumea macroscopică. Deoarece particulele obişnuite au lungimi de undă cuantice cu multe ordine de mărime mai mari decât scara Planck, probabilitatea ca un

foton de lumină vizibilă să se afle la capătul unei legături nelocale, aşa încât să poată sări direct de la Ted la
Mary, este foarte mică. Estimări grosiere sugerează că nu mai puţin de IO^{100} asemenea legături nelocale pot fi adăugate înainte ca experimentele să detecteze cu uşurinţă o comunicare cu viteză mai mare decât cea a luminii. Este un număr imens (dar nici pe departe atât de mare ca IO^{180}). Totuşi, nodurile conectate nelocal cu un alt nod din univers ar fi destul de răspândite; ar exista, în medie, mai mult decât unul pe nanometru cub de spaţiu.

Odată ce permitem legături nelocale, caracterul local poate fi perturbat în foarte multe moduri. Pot exista de asemenea puţine noduri conectate cu multe alte noduri. Nodurile acestea foarte sociabile ar funcţiona î la fel ca bârfele într-o reţea socială, canalizând o mulţime de informaţii pe tot cuprinsul universului şi acţionând ca nişte scurtături.

Ar putea fi universul plin cu

asemenea conexiuni nelocale? Cum ar putea fi detectată prezenţa lor?

Iată o idee evidentă: corelaţia cuantică şi alte manifestări ale caracterului nelocal din teoria cuantică ar putea fi exemple de perturbare a caracterului local. Pesemne că nivelul fundamental al descrierii – în care nu există spaţiu, ci doar o reţea de interacţiuni, fiecare lucru putând fi conectat cu toate celelalte – este teoria cu variabile ascunse pentru a cărei existenţă am pledat în capitolul 14. în acest caz, teoria cuantică şi spaţiul ar emerge împreună.[14]

O altă ipoteză (nu din cale-afară de excentrică) este că legăturile nelocale explică misterioasa energie întunecată care provoacă accelerarea expansiunii universului nostru.[15] O ipoteză mai îndrăzneaţă, şi mai puţin probabilă, este că ele ar putea explica materia întunecată.[16] Iar una încă şi mai hazardată este că particulele încărcate nu sunt decât capetele legăturilor nelocale.[17] Aceasta aminteşte de o mai veche idee a lui

John Wheeler că particulele încărcate electric ar putea fi gurile găurilor de vierme din spaţiu, întrucât găurile de vierme sunt mici tuneluri (ipotetice) care conectează poziţii din spaţiu aflate la foarte mare distantă una de alta. Liniile de câmp ale unui câmp electric se termină pe particule încărcate electric, dar ele par de asemenea să se termine în găuri de vierme, unde (s-ar presupune) traversează tunelul şi ies în celălalt capăt. Un capăt ar acţiona ca o particulă cu sarcină pozitivă, iar celălalt ca o particulă cu sarcină negativă.[18] O legătură nelocală ar putea face acelaşi lucru. Ea ar capta o linie de câmp electric şi ar arăta ca o particulă şi o antiparticulă îndepărtată (vezi figura 17).

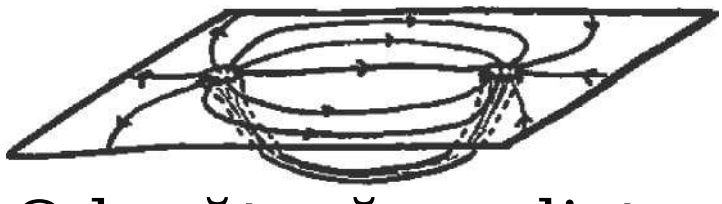


Fig. 17. O legătură pe distanţă lungă sub forma unei găuri de vierme care captează o linie de flux electric. În jurul uneia din gurile găurii de vierme este un câmp electric ce pare să provină dintr- un punct, care arată ca o

particulă încărcată.

*

Un număr mic de conexiuni nelocale ar putea fi tolerat, şi chiar avantajos, dacă vreuna dintre ideile mai sus-mentionate se va dovedi a fi corectă. Dar dacă sunt prea multe, întâmpinăm dificultăţi legate de emergenţa spaţiului. Aceasta se numeşte *problema inversă.*

E uşor să aproximăm o anumită suprafaţă bidimensională netedă – să zicem suprafaţa unei sfere – cu o reţea de triunghiuri (vezi figura 18). Un asemenea graf se numeşte triangularea unei suprafeţe. Este ceea ce a făcut Buckminster Fuller — atunci când a inventat domul geodezic, şi pentru o scurtă perioadă de timp acestea au presărat peisajul, până când oamenii şi-au reamintit avantajele încăperilor pătrate. Dar acum să examinăm problema inversă. Să presupunem că vă dau un număr de triunghiuri şi vă spun să construiţi o structură lipindu-le laolaltă, muchie de muchie. Nu vă dau nici o

îndrumare; vă spun doar să asamblaţi suprafaţa în mod aleatoriu din triunghiuri. Este extrem de improbabil că veţi produce o sferă. Probabil veţi obţine o formă aiurită de felul celor reprezentate în figura 19 – o formă cu ţepi sau vreo altă harababură complicată.[5] [5]

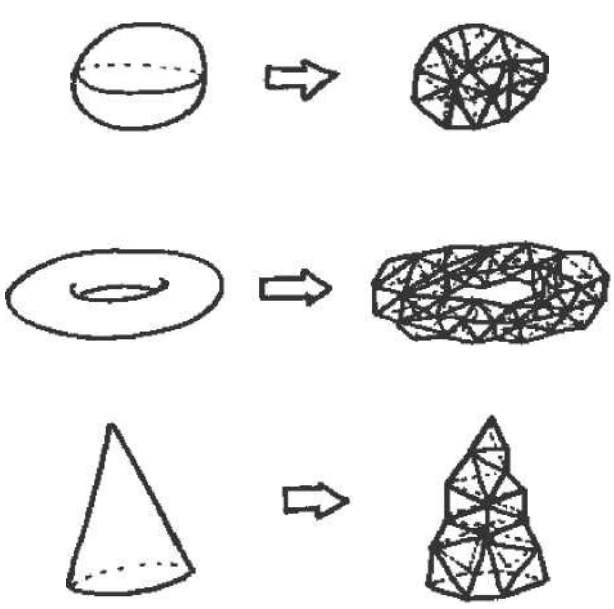


Fig. 18. Triangularea suprafeţelor bidimensionale netede.

Problema este că există mult mai multe moduri de a pune triunghiurile laolaltă pentru a obţine forme aiurite decât pentru a obţine o suprafaţă sferică bidimensională frumoasă, în toate aceste forme dezordonate, structura atomică iese în evidenţă, fiindcă e foarte multă complexitate la scara triunghiurilor individuale. Aşa încât nu emerge ceva în genul unui spaţiu

elegant.

Rezultatele care arată că relativitatea generală emerge din gravitaţia cuantică cu bucle nu sunt afectate de problema inversă, fiindcă ele se bazează pe o alegere particulară a grafurilor care pot fi construite prin triangularea spaţiului. în contextul lor, aceste rezultate sunt impresionante, dar ele nu ne spun cum să descriem evoluţia unor graiuri mai generale care ar avea o sumedenie de conexiuni nelocale.

Aceasta subliniază, din nou, cât de restrictiv şi de particular este caracterul local al spaţiului. Şi totodată ne învaţă o lecţie importantă. Dacă spaţiul emerge dintr-o structură cuantică, atunci trebuie să existe un principiu sau o forţă care obligă „atomii” de spaţiu să se asambleze în moduri care limitează aranjamentele posibile la cele care „arată a” spaţiu. în particular, trebuie impusă condiţia ca fiecare atom de spaţiu să aibă doar câţiva alţi atomi de spaţiu în vecinătatea sa — fiindcă asta nu se

întâmplă într-o asamblare aleatorie a atomilor de spaţiu.

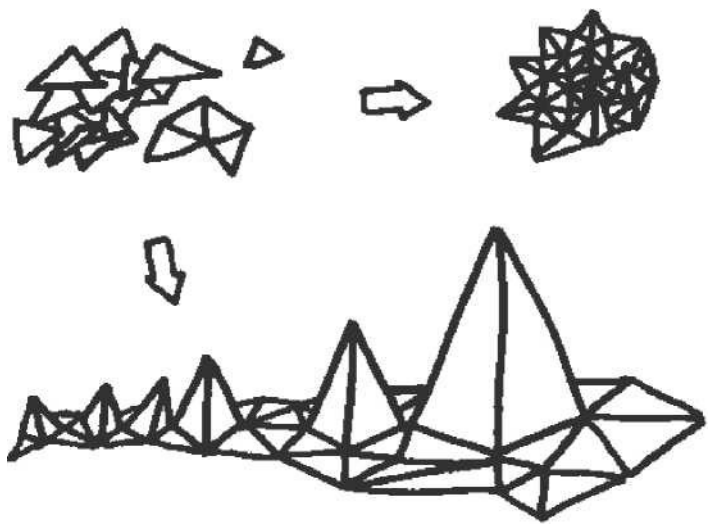


Fig. 19. Geometrii extravagante create prin lipirea laolaltă la întâmplare a laturilor unor triunghiuri.

Am vorbit despre construirea relativităţii generale cuantice pornind de la gravitaţia cuantică cu bucle, dar problema inversă afectează şi alte abordări ale gravitaţiei cuantice care implică ideea că spaţiul sau spaţiul-timp au o structură de tip atomic. Printre acestea se numără abordările numite teoria mulţimilor cauzale, modelele matriciale ale teoriei corzilor şi triangulaţiile dinamice. Fiecare posedă trăsături atrăgătoare care i-au îndemnat pe oameni s-o studieze, şi fiecare s-a lovit de problema inversă.

Principala întrebare pe care o ridică aceste abordări este de ce lumea arată ca un spaţiu tridimensional, iar nu ca o reţea puternic interconectată.

Ca să înţelegem dificultatea, să ne imaginăm că trăim în reţeaua utilizatorilor de telefoane mobile. Spaţiul este inexistent, iar unica noţiune de distanţă, sau cine este vecin şi cine nu, este definită de cine pe cine sună. Dacă vorbeşti cu cineva cel puţin o dată pe zi, vă vom considera vecinii cei mai apropiaţi. Cu cât vorbeşti mai rar cu cineva, cu atât vei fi mai departe de persoana respectivă. Să observăm acum cât de diferită şi cu cât mai flexibilă este noţiunea aceasta de distantă fată de distanta în spaţiu. în

J > > 1 J

spaţiu, aşa cum am văzut, numărul vecinilor potenţial cei mai apropiaţi este acelaşi pentru oricine; în spaţiul tridimensional, spre deosebire de o reţea de telefonie mobilă, nimeni nu poate avea mai mulţi de şase.

într-o reţea de telefonie mobilă,

eşti de asemenea liber să fii cât de aproape sau cât de departe vrei de oricare alt utilizator din reţea. Dacă ştiu cât de departe eşti de, să zicem, 50.000 de alţi utilizatori, asta nu-mi spune nimic despre cât de departe ai putea fi de al 50.001-lea. Următorul utilizator adăugat ar putea fi un străin, sau ar putea fi mama ta. Dar în spaţiu proximităţile sunt rigide. Odată ce mi-ai spus cine sunt vecinii tăi cei mai apropiaţi, ştiu unde locuieşti. Pot să spun cât de departe eşti de oricine altcineva.

în consecinţă, e nevoie de mult mai multă informaţie pentru a preciza cum este conectată o reţea decât pentru a preciza cum sunt aranjate obiectele într-un spaţiu bi- sau tridimensional. Pentru a preciza cât de conectaţi sunt cei 5 miliarde de utilizatori de telefoane mobile, e necesar să dau un bit separat de informaţie pentru fiecare potenţială pereche de utilizatori. Aceasta este aproximativ 5 miliarde la pătrat, care se scrie 2,5 x IO^{19}. Dar pentru a preciza unde se află fiecare

utilizator pe suprafaţa Pământului, am nevoie de numai două numere pentru fiecare: longitudinea şi latitudinea – adică un fleac de 10 miliarde de numere. Prin urmare, dacă spaţiul apare prin decuplarea conexiunilor într-o reţea, atunci există un număr enorm de potenţiale conexiuni care trebuie întrerupte.

Cum pot fi decuplate aceste conexiuni?

Abordarea gravitaţiei cuantice prin metoda graiurilor cuantice tratează această problemă presupunând că crearea şi menţinerea conexiunilor dintr-o reţea necesită energie. Şi e nevoie de mult mai puţină energie pentru a forma o reţea bi- sau tridimensională, precum cea din figura 13, decât pentru a forma reţele cu un număr mai mare de dimensiuni. Aceasta sugerează o imagine simplă a universului foarte timpuriu: la început, el era foarte fierbinte, aşa încât exista suficientă energie pentru a activa majoritatea conexiunilor. Universul timpuriu a

fost aşadar o lume în care orice lucru era conectat cu oricare altul prin cel mult câţiva paşi. Pe măsură ce universul s-a răcit, conexiunile au început să se întrerupă, până când au rămas doar cele necesare pentru a forma o reţea tridimensională. Acesta e un scenariu pentru emergenţa spaţiului (unii dintre colegii mei vorbesc despre *big freeze* [marele îngheţi în loc de big bang). Procesul a mai fost numit şi *geometrogeneză.*[19]

Geometrogeneza poate explica şi unele caracteristici ale condiţiilor iniţiale ale universului, de exemplu de ce vedem că fondul cosmic de microunde are aceeaşi temperatură şi acelaşi spectru al fluctuaţiilor în toate direcţiile: pentru că iniţial universul a fost un sistem puternic interconectat. Geometrogeneza oferă aşadar o alternativă la ipoteza că universul a suferit o inflaţie colosală la începutul vieţii lui.

Fireşte, diavolul se ascunde în detalii, iar exact cum şi de ce din

„marele îngheţ” trebuie să rezulte o structură tridimensională cu aspect regulat, precum reţeaua bidimensională din figura 13, şi nu o structură mai dezordonată, este o întrebare care face obiectul cercetărilor actuale.[20]

*

Se dovedeşte că rezolvarea problemei inverse ne învaţă două lecţii importante despre natura timpului.

Prima este că emergenţa spaţiului e mai probabilă în modelele de univers cuantic care presupun existenţa unei variabile de timp global. Acest fapt e ilustrat de modelele de triangulaţie dinamică.

O triangulaţie este, aşa cum am menţionat, o suprafaţă construită prin alăturarea unui mare număr de triunghiuri, ca într-un dom geodezic (vezi figura 18). Un spaţiu tridimensional curb poate fi construit în mod asemănător prin alăturarea unor tetraedre, care sunt analogul tridimensional al triunghiurilor. Un model de

triangulaţie dinamică foloseşte aceste tetraedre ca atomi de spaţiu. O geometrie cuantică nu e descrisă de un graf, ci de un aranjament de tetraedre ale căror feţe sunt lipite între ele.[21] O

asemenea configuraţie a spaţiului evoluează în timp, urmând un set de reguli, pentru a forma o versiune triangulată discretă a unui spaţiu-timp cvadridimensional (vezi figura 20).

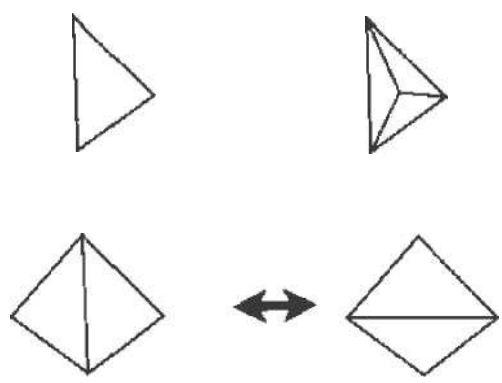


Fig. 20. Reguli de evoluţie pentru triangulaţiile suprafeţelor.

Există două tipuri de abordări prin triangulaţie dinamică: cele în care spaţiul- timp este atomizat şi destinat a fi emergent, ca în imaginea universului-bloc, şi cele în care se presupune o noţiune de timp universal, şi doar spaţiul trebuie să fie emergent. Altminteri, construcţiile sunt foarte asemănătoare. Rezultatul este că un spaţiu-timp coerent emerge doar în modelele în care se presupune că timpul este real. Celelalte modele – cele fără un timp global – cad victimă problemei inverse: ele sunt copleşite de o infecţie de geometrii

dezordonate care nu arată nicidecum a spaţiu (vezi figura 19).

Modelele care rezolvă problema inversă sunt cele numite triangulaţii dinamice cauzale, inventate de Ambjorn şi Loll. Aceste spaţii-timp emergente sunt parţial realiste, în sensul că au trei dimensiuni spaţiale şi una temporală (vezi figura 21). Acestea sunt primele exemple de universuri cuantice care, la scară mare, seamănă cu soluţiile teoriei relativităţii generale a lui Einstein. Ele demonstrează chiar şi că volumul spaţiului creşte în timp după cum prevăd ecuaţiile lui Einstein.

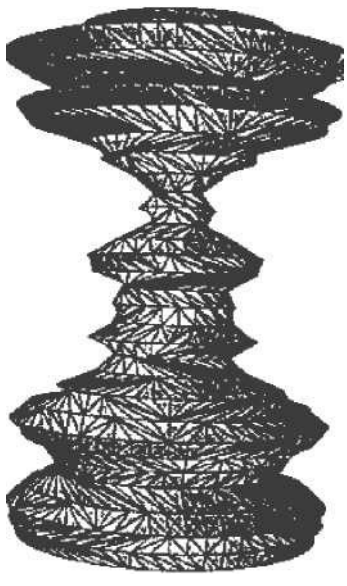


Fig. 21. O geometrie spaţio-temporală tipică
emergentă dintr- un model de triangulaţie
dinamică cauzală.[22]

Mai rămân unele probleme de rezolvat – de exemplu, dacă aceste spaţii-timp emergente seamănă suficient de bine cu soluţiile relativităţii generale pentru a reproduce fenomene precum undele gravitaţionale şi găurile negre. Altă provocare este de a înţelege soarta noţiunii de timp global încorporat în modele. O întrebare veche este dacă prezenţa timpului global violează simetria temporală multiformă *[many-fingered-time symmetry]* a relativităţii generale (vezi capitolul 6). Un mod mai nou de a pune această întrebare este dacă relativitatea generală este — sau poate fi, printr-o ajustare a modelului – recuperată în dinamica formelor, care, după cum am văzut în capitolul 14, este o teorie cu un timp global echivalentă relativităţii generale.

A doua lecţie este că, dacă spaţiul e emergent, atunci nu poate exista o relativitate a simultaneităţii la nivelul cel mai profund, fiindcă orice e conectat cu orice altceva. Deoarece putem trimite un semnal

între oricare două noduri în doar unul sau câţiva paşi, sincronizarea ceasurilor nu este o problemă. Prin urmare, la acel nivel, timpul trebuie să fie global.

Această lecţie e ilustrată de rezultatele din 5 modelele de grafuri cuantice. Aici cadrul este un graf cu un număr mare de noduri, oricare două dintre ele fiind sau conectate, sau nu. Geometriile cuantice includ atunci orice graf care poate fi de-senat conectând toate nodurile. O lege dinamică cuplează sau decuplează conexiunile. Au fost studiate mai multe modele în care diferite legi se presupune că cuplează sau decuplează muchiile. Aceste modele au două faze, analoage cu două faze ale apei. Există o fază la temperatură înaltă, în care aproape toate muchiile sunt active, aşa încât fiecare nod e strâns conectat cu oricare altul în unul sau doar câţiva paşi. Nu există caracter local, deoarece informaţia poate sări cu uşurinţă şi rapid între oricare două noduri. în această fază a modelului

nu există nimic asemănător spaţiului. Dar dacă modelul e răcit, are loc o tranziţie de fază către o fază îngheţată, în care aproape toate muchiile se decuplează. La fel ca într-un spaţiu cu puţine dimensiuni, fiecare nod are doar câţiva vecini foarte apropiaţi, şi e nevoie de multe salturi între majoritatea perechilor de noduri.

într-un model de graiuri cuantice se poate introduce şi materie. Particulele există în noduri şi pot sări de la un nod la altul numai dacă muchiile care le conectează sunt active. Poate fi postulată o dinamică ce include principiul acţiunii reciproce, prezent şi în relativitatea generală, potrivit căruia geometria îi spune materiei unde se poate mişca, iar materia îi spune geometriei cum poate evolua. Aceste modele prezintă unele trăsături ale emergenţei spaţiului şi posedă de asemenea fenomene de tip gravitaţional, ca de exemplu nişte analoage ale găurilor negre cuantice, unde particulele pot fi

captive perioade lungi de timp. Aceste regiuni de tip gaură neagră nu sunt permanente; ele se evaporă lent într-un mod care aminteşte de procesul de evaporare a găurilor negre descoperit de Stephen Hawking.

Mai este încă mult de lucru la aceste modele până să putem conchide că ele sunt realiste – însă chiar aşa simple cum sunt, ele au adus deja un enorm beneficiu euristic. Ele arată că dacă orice poate fi conectat cu orice altceva, atunci trebuie să existe un timp global. în relativitatea restrânsă, relativitatea simultaneităţii este o consecinţă a caracterului local. E imposibil de stabilit dacă evenimente îndepărtate sunt simultane, deoarece viteza luminii impune o limită superioară pentru transmiterea semnalelor. în relativitatea restrânsă, putem stabili simultaneitatea numai dacă două evenimente sunt în acelaşi loc. Dar într-un univers cuantic, în care orice particulă se poate afla la numai un pas de oricare alta, totul

este esenţialmente „în acelaşi loc”. într-un asemenea model, sincronizarea ceasurilor nu-i o problemă, prin urmare există un timp universal.

Emergenţa spaţiului într-un asemenea model e însoţită de emergenţa caracterului local şi de existenţa unei viteze limită pentru transmiterea semnalelor. (Lucrul acesta a fost demon-strat amănunţit în modelele de grafuri cuantice.[23]) Dacă examinăm doar fenomene din spaţiul-timp emergent şi nu sondăm până la scara atomilor de spaţiu-timp, relativitatea restrânsă va părea aproximativ valabilă – ceea ce întăreşte principala lecţie desprinsă din modelele şi teoriile prezentate în acest capitol: *Poate că spaţiul este o iluzie, dar timpul trebuie să fie real.*

înţelegerea gravitaţiei cuantice avansează permanent. Sunt multe aspecte valoroase în toate abordările discutate aici. Fiecare ne spune ceva important despre eventualele fenomene cuantic-gravitaţionale ce ar putea fi

observate în natură, precum şi despre consecinţele diferitelor ipoteze, despre dificultăţile cu care se confruntă fiecare şi posibilele strategii pentru a le depăşi. Abordările cele mai reuşite fie se încadrează în paradigma newtoniană, şi ne vorbesc despre spaţii-timp cuantice într-o cutie, fie, dacă răspund provocării cosmologice, ne vorbesc despre realitatea timpului.

16. Richard Buckminster Fuller (1895-1983), inginer şi arhitect american, inventatorul domului geodezic, formă aproape sferică a cărei suprafaţă este aproximată de poligoane regulate; este singurul tip de clădire fără limitări de dimensiuni şi care poate fi amplasată direct pe pământ ca o structură completă (n. tr.).

16. Viaţa şi moartea universului

Ne întoarcem acum către cea mai importantă şi mai dificilă întrebare pe care o putem pune despre univers: de ce este prielnic vieţii? Vom vedea că răspunsul, în mare parte, se bazează pe realitatea timpului.

Dacă într-adevăr timpul este real, atunci trebuie să existe trăsături ale universului care sunt explicabile numai presupunând că timpul e fundamental. Aceste trăsături trebuie să pară misterioase şi fortuite dacă presupunem contrariul – că timpul este emergent. Există asemenea trăsături; ele sunt evidenţiate de observaţia că universul nostru 5 5
are o istorie în care evoluează de la simplu la complex. Aceasta conferă timpului o direcţionalitate pronunţată – spunem că universul are o săgeată a timpului.

Direcţionalitatea e extrem de improbabilă într-o lume în care timpul este neesenţial şi emergent.

Priviţi în jur. Cu ochiul liber sau cu cel mai puternic telescop, vedem un univers extrem de structurat şi de complex.

Complexitatea este improbabilă. Ea necesită o explicaţie. Nimic nu poate sări imediat de la o organizare simplă la una foarte complexă. O complexitate mare necesită o serie de paşi mici. Aceştia au loc succesiv, ceea ce implică o ordonare rigidă în timp a evenimentelor.

Toate explicaţiile ştiinţifice ale complexităţii necesită o istorie, pe durata căreia nivelurile de complexitate au crescut lent şi cumulativ. Este ceea ce Richard Dawkins numea urcarea muntelui improbabilităţii.[1] Aşadar universul trebuie să aibă o istorie care s-a desfăşurat în timp. Este nevoie de o ordine cauzală care să explice cum a ajuns universul în starea sa actuală.

Potrivit fizicienilor din secolul XIX

şi unora dintre cosmologii speculativi contemporani care adoptă perspectiva atemporală, complexitatea pe care o vedem în jur e accidentală şi în mod inevitabil temporară. În viziunea lor, universul e sortit să sfârşească într-o stare de echilibru. Aceasta este o stare, numită *moartea termică a universului,* în care materia şi energia sunt uniform distribuite în întregul univers şi nimic nu se întâmplă cu excepţia unor rare fluctuaţii aleatorii.[2] De cele mai multe ori

J

aceste fluctuaţii aleatorii se disipează imediat ce apar, fără să construiască nimic. Dar, aşa cum voi explica în capitolul acesta şi în următoarele, principiile pentru o nouă teorie cosmologică expuse în capitolul 10 ne vor ajuta să înţelegem de ce un univers cu o complexitate în creştere este natural şi necesar.

Prin urmare, două drumuri diferite se deschid înaintea noastră, ducând la versiuni radical diferite privind viitorul universului, în prima perspectivă, nu există viitor, pentru

că nu există timp. Timpul este o iluzie care în cel mai bun caz reprezintă o măsură a schimbării, o iluzie care se va sfârşi atunci când va înceta schimbarea.

în perspectiva dependentă de timp pe care o propun eu, universul este un proces pentru producerea de noi fenomene şi stări de organizare, care se va regenera veşnic pe măsură ce evoluează spre stări tot mai complexe şi mai organizate.

Registrul observaţional ne spune fără echivoc că universul devine tot mai interesant odată cu trecerea timpului. Iniţial el a fost umplut cu o plasmă în echilibru; de la începuturile cele mai simple, el a evoluat către o complexitate enormă într-o gamă largă de dimensiuni, de la roiuri de galaxii la molecule biologice.[3]

Persistenţa şi creşterea tuturor acestor structuri şi a complexităţii sunt deconcertante, fiindcă exclud explicaţia cea mai simplă pentru structura pe care o vedem – anume că este un aranjament întâmplător.

O întâmplare nu ar produce structuri care au persistat miliarde de ani şi a căror complexitate a sporit permanent în timp. Aşa cum voi explica numaidecât, dacă complexitatea pe care o vedem în jurul nostru ar fi întâmplătoare, aproape sigur ea ar scădea în timp, în loc să crească.

Predicţia că universul va sfârşi în moarte termică este încă un pas către eliminarea timpului din fizică şi cosmologie, şi e înrudit cu vechea idee că starea naturală a universului este imuabilă. Conform celor mai vechi idei din gândirea cosmologică, starea naturală a lumii este echilibrul – o stare în care, dat fiind că totul se află în locul său natural, nu există vreun imbold către organizare. Aceasta a fost esenţa cosmologiei aristotelice, care, aşa cum am arătat în capitolul 2, se baza pe o fizică în care fiecare esenţă are o mişcare naturală: de exemplu, pământul tinde spre centru, în vreme ce mişcarea naturală a aerului este în sus.

Singurul motiv pentru care mai

există schimbare pe tărâmul pământesc, potrivit lui Aristotel, este că mai sunt şi alte cauze ale mişcării, clasificate ca mişcări impuse, capabile să scoată un lucru din starea lui naturală. Oamenii şi animalele sunt surse de mişcări impuse, dar mai există şi altele. Apa fierbinte include aer, aşa încât preia în parte mişcarea naturală ascendentă a aerului şi se ridică până când se răceşte, moment în care expulzează aerul şi cade sub formă de ploaie. Sursa ultimă a mişcării impuse este căldura provenind de la Soare, care aparţine tărâmului ceresc. într-un fel sau altul, sursa tuturor mişcărilor impuse este Soarele. Dacă sfera terestră ar fi deconectată de cer şi lăsată de una singură, totul ar ajunge în echilibru, în repaus în locul său natural, iar schimbarea ar înceta.

Fizica modernă are propria sa noţiune de echilibru, caracterizată de legile termodinamicii. Acestea se aplică fizicii într- o cutie. Contextul pentru legile termodinamicii este un

sistem izolat, care nu schimbă cu mediul înconjurător nici energie, nici substanţă.

Trebuie[5] să fim totuşi atenţi să nu confundăm noţiunile de echilibru ale lui Aristotel sau Newton cu noţiunea modernă de echilibru termodinamic. La Aristotel şi Newton, echilibrul este un rezultat al compensării forţelor. Un pod rămâne în picioare fiindcă forţele acţionând asupra fiecărei grinzi şi fiecărui nit se compensează. Noţiunea de echilibru în termodinamica modernă este complet diferită. Ea se aplică unor sisteme cu un număr foarte mare de particule şi apelează în mod esenţial la noţiunea de probabilitate.

înainte de a vorbi despre moartea termică a universului, trebuie să ne asigurăm că înţelegem termenii. Asta presupune, în primul rând, să înţelegem semnificaţia *entropiei* şi a *legii a doua a termodinamicii.*

*

Pentru a înţelege termodinamica modernă, esenţial e faptul că ea implică două niveluri de descriere. Există nivelul microscopic, care presupune descrierea exactă a poziţiilor şi mişcărilor tuturor atomilor din orice sistem. Aceasta se numeşte *micro-stare.* Există apoi nivelul macroscopic, sau *macrostarea* sistemului, care presupune o descriere generală aproximativă în termenii câtorva variabile, cum ar fi temperatura şi presiunea unui gaz. A studia termodinamica unui sistem presupune a stabili relaţia dintre aceste două niveluri de descriere.

Un exemplu simplu este o clădire obişnuită din cărămidă. Macrostarea în cazul acesta este proiectul arhitectural; microstarea este poziţia exactă a fiecărei cărămizi. Arhitectul trebuie să precizeze doar că se construiesc ziduri din cărămidă având cutare şi cutare dimensiuni, cu deschizături pentru ferestre şi uşi. Nu e nevoie ca el să indice poziţia fiecărei

cărămizi. Majoritatea cărămizilor sunt identice, astfel încât structura nu e afectată dacă două cărămizi identice sunt schimbate între ele. Există aşadar un număr enorm de microstări diferite care produc aceeaşi macrostare.

Să comparăm aceasta cu o clădire proiectată de Frank Gehry —, de pildă Muzeul Guggenheim din Bilbao, a cărui suprafaţă exterioară e alcătuită din plăci de metal făurite individual. Pentru a forma suprafeţele curbe din proiectele lui Gehry, fiecare placă trebuie să fie diferită, iar poziţia ei contează. Construcţia va lua forma intenţionată de arhitect numai dacă fiecare placă de metal în parte este aşezată în locul ei precis. Şi de data asta proiectul arhitectural precizează macrostarea, iar poziţia fiecărei plăci constituie microstarea. Dar spre deosebire de o clădire tradiţională din cărămidă, nu avem nici o libertate să intervenim în microstare. Există o singură microstare care produce macrostarea dorită.

Conceptul numărului de microstări care pot să producă aceeaşi macrostare ne permite aşadar să explicăm de ce clădirile lui Gehry sunt atât de revoluţionare. Conceptul acesta poartă un nume – *entropie.* Entropia unei clădiri este o măsură a numărului de moduri diferite în care pot fi asamblate componentele pentru a realiza proiectul arhitectului. O clădire obişnuită de cărămidă are o entropie foarte mare. O clădire proiectată de Frank Gehry poate avea entropie zero, corespunzând singurei sale microstări.[4]

Se vede din acest exemplu că *entropia este inversul informaţiei.* E nevoie de foarte multă informaţie pentru a preciza proiectul unei clădiri Gehry, fiindcă trebuie să spui exact cum să fie fabricată fiecare piesă şi exact unde să fie aşezată. E nevoie de mult mai puţină informaţie pentru a preciza proiectul unei clădiri obişnuite de cărămidă, fiindcă tot ce trebuie ştiut sunt dimensiunile pereţilor.

Să vedem cum funcţionează

metoda aceasta într-un exemplu mai tipic din fizică. Să considerăm un recipient plin cu gaz constând dintr-un număr foarte mare de molecule. Descrierea fundamentală este microscopică: ea spune unde se găseşte fiecare moleculă şi cum se mişcă. Aceasta e o cantitate enormă de informaţie. Există apoi o descriere macroscopică, în care gazul este descris în termenii densităţii, temperaturii şi presiunii sale.

Pentru a specifica densitatea şi temperatura este nevoie de mult mai puţină informaţie decât pentru a spune unde se află fiecare atom. în consecinţă, de la descrierea microscopică se poate trece cu uşurinţă la cea macroscopică, dar nu şi vice-versa. Dacă ştim unde se află fiecare moleculă şi cum se mişcă, ştim densitatea şi temperatura, care este energia cinetică medie. Dar a merge în sens invers e imposibil, fiindcă există foarte multe aranjamente microscopice diferite ale atomilor individuali din care rezultă aceeaşi

densitate şi temperatură.

Pentru a trece de la microstare la macrostare, este util să numărăm câte microstări sunt compatibile cu o macrostare dată. La fel ca în exemplul cu clădirile, numărul acesta e dat de *entropia* configuraţiei macroscopice. De reţinut că definită în felul acesta, entropia este o proprietate doar a descrierii macroscopice.

Ea este aşadar o proprietate emergentă; nu are sens să atribuim o entropie unei anumite microstări a sistemului.

Pasul următor constă în a lega entropia de probabilitate. în acest scop se face o presupunere, anume că toate microstările sunt la fel de probabile. Acesta este un postulat fizic, justificat de faptul că atomii dintr-un gaz sunt în mişcare haotică, ceea ce tinde să amestece şi deci să distribuie aleatoriu mişcările. Cu cât sunt mai multe moduri de a forma o macrostare din microstări – sau, altfel spus, cu cât entropia macrostării este mai mare – cu atât e mai probabil ca ea să fie

realizată. Macrostarea cea mai probabilă, în condiţiile în care microstarea este aleatorie, se numeşte starea de echilibru. Echilibrul este totodată starea cu cea mai mare entropie.

Descompuneţi o pisică în atomii ei componenţi şi amestecaţi acei atomi la întâmplare cu aerul din încăpere. Există mult mai multe microstări în care atomii pisicii sunt amestecaţi la întâmplare în aer decât microstări în care pisica este reasamblată şi stă pe canapea, lingându-şi blana şi torcând. Pisica este un mod extrem de improbabil de aranjare a atomilor, întrucât are o entropie scăzută şi foarte multă informaţie, comparativ cu un amestec aleatoriu al aceloraşi atomi în aer.

Atomii dintr-un gaz se mişcă haotic, ciocnindu-se frecvent între ei. Când se ciocnesc, atomii ricoşează în direcţii mai mult sau mai puţin întâmplătoare. Timpul tinde aşadar să amestece între ele microstările. Dacă microstarea iniţială nu este întâmplătoare, ea va

deveni astfel foarte curând. Aceasta sugerează că dacă pornim de la o altă stare decât cea de echilibru, cu o entropie scăzută, lucrul cel mai probabil care se va întâmpla cu trecerea timpului este că microstarea devine mai aleatorie, mărind entropia. Acesta este enunţul *legii a doua a termodinamicii.*

Pentru a vedea cum funcţionează ea, să considerăm în continuare un experiment simplu. Avem nevoie de un pachet de cărţi de joc şi un dispozitiv care să le amestece. Să presupunem că la începutul experimentului cărţile sunt în ordine. După aceea, tot ce se întâmplă este că o dată pe secundă cărţile sunt amestecate. Experimentul constă în a observa ce se întâmplă cu ordinea cărţilor când sunt amestecate în mod repetat.

La început, cărţile de joc sunt ordonate, dar fiecare amestecare face ca ordinea să devină din ce în ce mai aleatorie. Entropia tinde să crească. După un număr suficient de amestecări, ordinea nu mai

poate fi distinsă de una pur aleatorie; în consecinţă, orice amintire a ordinii iniţiale este ireversibil pierdută.

Tendinţa ordinii de a se disipa în dezordine e exprimată de legea a doua a termodinamicii. în acest context, legea afirmă că amestecarea unui pachet de cărţi de joc va tinde să distrugă orice ordine specială pe care o vor fi avut iniţial cărţile, înlocuind- o cu o ordine aleatorie.

Entropia nu creşte întotdeauna. Din când în când, o amestecare va reduce entropia – de exemplu, reaşezând cărţile în ordinea iniţială. Doar că este mult mai probabil ca o amestecare a unui pachet ordonat să sporească entropia decât s-o reducă. Cu cât sunt mai multe cărţi de joc în pachet, cu atât e mai puţin probabil ca o amestecare să producă o reordonare completă, şi deci cu atât mai lungi vor fi intervalele dintre amestecurile care ordonează complet pachetul. Cu toate acestea, atâta vreme cât numărul cărţilor de joc din pachet

este finit, există un timp după care e probabil ca amestecurile, având loc în ritmul de unul pe secundă, să producă o reordonare completă. Acesta se numeşte *timpul de recurenţă al lui Poincare.* Dacă urmărim un sistem pe intervale de timp mult mai scurte, probabil vom vedea doar că entropia creşte. Dar dacă urmărim sistemul pe o durată mai lungă decât timpul de recurenţă al lui Poincare, vom asista probabil şi la o scădere a entropiei.

Povestea despre rolul întâmplării în ordonarea cărţilor de joc poate fi transferată asupra gazului. Există configuraţii ordonate ale atomilor de gaz, de pildă acelea în care toţi atomii sunt într-o parte a cutiei şi se mişcă în aceeaşi direcţie. Aceste configuraţii sunt analoage cu cele în care toate cărţile de joc sunt ordonate. Dar, deşi aceste configuraţii ordonate ale atomilor există, ele sunt mult mai rare decât configuraţiile în care atomii sunt dispuşi la întâmplare în toată cutia şi se mişcă în direcţii întâmplătoare.

Dacă iniţial toti atomii sunt într-un colt al cutiei şi toţi se deplasează în acelaşi fel, vom vedea că, pe măsură ce se mişcă şi se împrăştie ciocnindu-se unii de alţii, ei se răspândesc în cutie, umplând-o în întregime. După un anumit timp, poziţiile atomilor vor fi complet amestecate, aşa încât densitatea atomilor în cutie devine uniformă.

Aproximativ în acelaşi ritm, direcţiile în care se mişcă atomii şi energiile lor se vor distribui aleatoriu datorită ciocnirilor. în cele din urmă, majoritatea atomilor vor avea o energie apropiată de cea medie, care este temperatura.

Indiferent cât de ordonată şi de neobişnuită este configuraţia iniţială, după o vreme densitatea şi temperatura atomilor din cutie vor fi uniforme şi aleatorii. Aceasta e starea de echilibru. Odată ce gazul a ajuns la echilibru, cel mai probabil el va rămâne acolo.

în acest context, legea a doua a termodinamicii spune că pe durate scurte de timp cea mai probabilă variaţie a entropiei este un număr

pozitiv, sau cel puţin zero. Dacă pornim cu o configuraţie de neechilibru, pornim cu o configuraţie având o probabilitate mai mică, şi deci o entropie mai scăzută. Lucrul cel mai probabil care se va întâmpla este că configuraţia devine mai aleatorie din cauza ciocnirilor dintre atomi, mărindu-i aşadar probabilitatea. Drept urmare, entropia creşte. Dacă pornim din starea de echilibru, în care entropia e maximă deoarece configuraţia este deja aleatorie, cel mai probabil configuraţia va rămâne aleatorie. Dar dacă urmărim atomii pe o perioadă foarte lungă de timp, vor exista, aşa cum am menţionat, fluctuaţii improbabile care duc gazul într-o stare mai ordonată. Cele mai probabile dintre aceste fluctuaţii sunt subtile: o densitate doar un pic mai mare într- un loc şi un pic mai mică altundeva. Mult mai puţin probabile vor fi fluctuaţiile care readuc toti atomii într-un colt al cutiei. Dar

5

dispunând de suficient timp, şi acestea vor apărea. Dacă numărul atomilor e finit, vor exista fluctuaţii care duc la orice configuraţie, indiferent cât de rară.

Dar nu e nevoie să aşteptăm pentru a vedea efecte fizice ale fluctuaţiilor. într-un studiu faimos, Einstein[3] a folosit agitaţia moleculelor dintr-un lichid pentru a demonstra existenta atomilor. El a emis ipoteza că un lichid, cum ar fi apa, este alcătuit din molecule aflate în mişcare aleatorie, şi a calculat efectul acestor mişcări asupra unei mici particule, precum un grăunte de polen, suspendată în apă. Moleculele de apă sunt prea mici pentru a putea fi văzute, dar influenţa lor e vizibilă în mişcarea grăuntelui, care este destul de mare pentru a fi văzut la microscop. Grăuntele este ciocnit din toate părţile de molecule, făcându-l să intre într-un fel de dans aleatoriu.

Măsurând cât de energic dansează grăuntele de polen, se poate deduce câte molecule îl

ciocnesc într-o secundă şi cu ce forţă. într-unul dintre articolele sale din 1905, Einstein a făcut predicţii testabile, ulterior confirmate, despre proprietăţile atomilor, inclusiv numărul de atomi dintr-un gram de apă.[5] Din acesta şi multe alte experimente similare, ştim că asemenea fluctuaţii sunt reale şi fac parte din povestea termodinamicii.

Fluctuaţiile rezolvă un paradox major care a dat de furcă primelor studii de termodinamică. Iniţial, legile termodinamicii au fost introduse fără noţiunile de atom sau probabilitate. Gazele şi lichidele au fost tratate ca substanţe continue, iar entropia şi temperatura au fost definite fără a folosi noţiunea de probabilitate, ca şi cum ar fi avut o semnificaţie fundamentală. în formularea

originară, legea a doua afirma pur şi simplu că în orice proces entropia sau creşte, sau rămâne constantă. O altă lege afirma că atunci când entropia este maximă, un sistem are aceeaşi

temperatură peste tot.

La jumătatea secolului XIX, James Clerk Maxwell şi Ludwig Boltzmann au dezvoltat ipoteza că materia e alcătuită din atomi care se mişcă la întâmplare, şi au încercat să deducă legile termodinamicii aplicând metodele statisticii la mişcările unui număr mare de atomi. De exemplu, ei au propus ideea că temperatura nu e decât energia medie a mişcării atomice aleatorii. Ei au introdus entropia şi legea a doua foarte asemănător felului în care am procedat eu aici.

Dar majoritatea fizicienilor de atunci nu credeau în existenţa atomilor. Prin urmare, ei au respins aceste eforturi de a întemeia legile termodinamicii pe mişcarea atomică, şi au inventat argumente puternice pentru a dovedi că ele nu pot fi deduse din acea mişcare. Un astfel de argument decurgea după cum urmează: Legile de mişcare ale atomilor (dacă aceştia există) trebuie să fie reversibile în timp (aşa cum am văzut în capitolul 5). Dacă filmezi un grup de atomi

mişcându-se conform legilor lui Newton şi derulezi filmul invers, obţii tot o istorie posibilă, compatibilă cu legile lui Newton. Dar legea a doua a termodinamicii nu e reversibilă, deoarece afirmă că întotdeauna entropia creşte sau rămâne constantă, dar nici-odată nu scade. Este imposibil, au argumentat scepticii, ca o lege care nu e reversibilă în timp să poată fi dedusă din legi reversibile – adică acelea care guvernează mişcările presupuşilor atomi.

Răspunsul corect la aceasta a fost dat de tânărul cuplu Paul şi Tatiana Ehrenfest, care erau protejaţii lui Boltzmann şi ulterior au devenit prieteni cu Einstein.[6] Ei au demonstrat că legea a doua, aşa cum a fost formulată în fizica preatomică, era greşită. Uneori entropia scade, doar că este improbabil. Dacă aştepţi suficient de mult timp, sporadic fluctuaţiile vor reduce entropia unui sistem. Fluctuaţiile sunt aşadar o parte necesară a poveştii despre felul în care a fost reconciliată

termodinamica cu existenţa atomilor care se supun unor legi fundamentale reversibile în timp.

însă chiar imaginea corectă pare lipsită de speranţă pentru viitor, fiindcă, pe baza acestor principii, orice sistem izolat va ajunge în cele din urmă la echilibru – după care nu mai există nici o schimbare cumulativă semnificativă, nici o creştere a structurii sau complexităţii, ci doar un echilibru infinit în care nu se întâmplă nimic altceva decât fluctuaţii aleatorii.

Un univers în echilibru nu poate fi complex, deoarece procesul aleatoriu care-l aduce la echilibru distruge organizarea. Dar asta nu înseamnă că complexitatea însăşi poate fi măsurată prin absenţa entropiei. Pentru a caracteriza pe deplin complexitatea, avem nevoie de noţiuni care transcend termodinamica sistemelor în echilibru; acestea sunt subiectul capitolului următor.

*

Dacă privim cosmologia din perspectiva termodinamicii, întrebarea de ce universul este interesant devine şi mai dificilă. Din punctul de vedere al paradigmei newtoniene, universul e guvernat de o soluţie a ecuaţiilor unei anumite legi. Acea lege poate fi aproximată printr-o combinaţie între relativitatea generală şi Modelul Standard al fizicii particulelor, dar detaliile nu contează. Soluţia care guvernează universul e selectată dintr-o mulţime infinită de soluţii posibile şi poate fi specificată alegând condiţiile iniţiale la momentul big bang-ului sau în apropierea lui.

Termodinamica ne învaţă că aproape toate soluţiile legilor fizicii descriu un univers în echilibru, deoarece prin definiţie echilibrul e alcătuit din configuraţiile cele mai probabile. O altă consecinţă a echilibrului este că o soluţie tipică a legilor are simetrie temporală – în sensul că fluctuaţiile locale către o stare

mai ordonată sunt la fel de probabile ca fluctuaţiile către o stare mai puţin ordonată. Derularea inversă a filmului are ca rezultat o istorie la fel de probabilă, şi în medie la fel de simetrică temporal. Putem spune că nu există o săgeată a timpului globală.

Universul nostru nu seamănă deloc cu aceste soluţii tipice ale legilor. Nici chiar acum, la mai mult de 13 miliarde de ani după big bang, universul nu este în echilibru. Iar soluţia care-l descrie e asimetrică temporal. Aceste proprietăţi sunt extraordinar de improbabile, dacă soluţia care descrie universul e aleasă la întâmplare.

întrebarea de ce universul e interesant şi pare să devină şi mai interesant este înrudită cu întrebarea de ce legea a doua a termodinamicii încă nu a reuşit să aducă universul la echilibru termic, în pofida miliardelor de ani în care ar fi avut ocazia s-o facă.

*

Cel mai simplu indiciu că universul nostru nu se află în echilibru termic e existenta unei săgeţi a timpului. Curgerea timpului e marcată de o asimetrie pronunţată: simţim şi observăm că ne mişcăm dinspre trecut către viitor.

Nenumărate fenomene atestă direcţionalitatea timpului. Multe lucruri sunt ireversibile (un accident de maşină, o frază rău aleasă spusă unui prieten nesigur, un pahar cu lapte vărsat). Ceştile cu cafea fierbinte se răcesc, iar nu invers; zahărul se amestecă în cafea, nu se separă; iar ceştile scăpate se sparg în bucăţi care, lăsate în voia lor, nu se vor reasambla niciodată. Cu toţii înaintăm în vârstă în aceeaşi direcţie; cărţile şi filmele în care cineva evoluează de la bătrâneţe muribundă la copilărie sunt fantezii care nu se împlinesc niciodată în viaţă.[7]

în starea de echilibru nu există o săgeată a timpului. La echilibru, ordinea poate să crească doar

temporar, printr-o fluctuaţie aleatorie. în medie, aceste abateri de echilibru arată la fel dacă sunt derulate înainte sau înapoi. Dacă luăm un film cu mişcările atomilor dintr-un gaz aflat în echilibru şi-l derulăm invers, nu vom putea distinge versiunea originală de cea inversată.

Pronunţata săgeată a timpului pe care o vedem în univers necesită o explicaţie, pentru că legile fundamentale ale fizicii sunt simetrice în raport cu timpul. Orice soluţie a ecuaţiilor lor este însoţită de o soluţie-

fantomă, care se comportă la fel ca prima, dar cu filmul derulat invers (cu subtilitatea suplimentară că stânga şi dreapta sunt inversate, iar particulele sunt înlocuite cu antiparticulele lor). Prin urmare, legile fundamentale nu ar fi încălcate dacă unii oameni ar trăi în sens invers, sau dacă unele ceşti cu cafea lăsate pe masă s-ar încălzi, sau dacă ceştile sparte s-ar reasambla în mod spontan.

De ce lucrurile acestea nu se

întâmplă niciodată? Şi de ce diferitele asimetrii temporale sunt toate orientate în aceeaşi direcţie – către creşterea dezordinii? Aceasta e uneori numită *problema săgeţii timpului.*

De fapt, în universul nostru există mai multe săgeţi ale timpului.

Universul se dilată, nu se contractă. Numim aceasta *săgeata cosmologică a timpului.*

Mici porţiuni de univers, lăsate singure, tind să devină mai dezordonate cu trecerea timpului (laptele vărsat, aerul care ajunge la echilibru etc.). Aceasta se numeşte *săgeata termodinamică a timpului.*

Oamenii, animalele şi plantele se nasc, cresc, îmbătrânesc şi apoi mor. Aceasta se poate numi *săgeata biologică a timpului.*

Percepem timpul curgând dinspre trecut către viitor. Ne amintim trecutul, dar nu viitorul. Aceasta este *săgeata empirică a timpului.*

Mai există şi o altă săgeată, mai puţin evidentă decât cele precedente, însă un indiciu important. Lumina se deplasează

dinspre trecut către viitor. Prin urmare, lumina care ajunge în ochii noştri ne oferă o imagine a lumii din trecut, nu din viitor. Aceasta se numeşte *săgeata electromagnetică a timpului.*

Undele luminoase sunt produse de mişcarea sarcinilor electrice. Mişcaţi încoace şi încolo o sarcină electrică, iar lumina se va răspândi, deplasându-se întotdeauna spre viitor, niciodată spre trecut. Acelaşi lucru pare să fie valabil şi pentru undele gravitaţionale. Există aşadar o *săgeată a timpului a undelor gravitaţionale.*

Universul nostru pare să conţină numeroase găuri negre. O gaură neagră este extrem de asimetrică în raport cu timpul. Orice poate cădea în ea, dar tot ce poate ieşi este radiaţie termică Hawking. O gaură neagră e un dispozitiv care ia orice lucru şi-l transformă într-un gaz de fotoni în echilibru. Acest proces ireversibil produce foarte multă entropie.

Dar ce se poate spune despre găurile albe? Aceste obiecte

ipotetice sunt soluţii ale relativităţii generale care se obţin inversând direcţia timpului în găurile negre. Găurile albe se comportă invers decât găurile negre. Nimic nu poate cădea într-o gaură albă, în schimb din ea poate ieşi orice. O gaură albă ar putea arăta ca apariţia spontană a unei stele, ceea ce s-ar obţine derulând invers un film despre colapsul unei stele într-o gaură neagră. Astronomii nu au observat nimic care să poată fi interpretat drept gaură albă.

Chiar dacă luăm în considerare numai găurile negre, este ceva ciudat în legătură cu universul nostru. Conform ecuaţiilor

>

relativităţii generale, era perfect posibil ca la început el să fi fost plin cu găuri negre. Dar, aşa cum am observat în capitolul 11, se pare că ele lipseau cu desăvârşire în universul timpuriu. Toate găurile negre pe care le cunoaştem par să se fi format mult mai târziu, din colapsul stelelor masive.

De ce există numai găuri negre,

nu şi găuri albe? Şi de ce la început universul nu a fost plin cu găuri negre? Se pare că există o *săgeată a timpului a găurilor negre,* indicată de absenţa lor în istoria timpurie a universului.

Ar putea exista în cealaltă parte a universului o galaxie în care unele dintre aceste săgeţi ale timpului să fie orientate invers? Nu există dovezi despre aşa ceva. Am putea trăi într-un univers în care, din loc în loc, unele săgeţi ale timpului să fie inversate, dar se pare că nu este aşa. De ce?

Aceste diferite săgeţi ale timpului sunt realităţi din universul nostru care necesită o explicaţie. Orice explicaţie oferită pentru ele se bazează pe presupuneri despre natura timpului. Explicaţia dată de cineva care crede că timpul emerge dintr-o lume atemporală se va deosebi de explicaţia dată de cineva care crede că timpul este fundamental şi real.

Legată de aceasta e întrebarea dacă legile fizicii sunt sau nu reversibile. După cum am observat

în capitolul 5, faptul că legile naturii sunt reversibile în raport cu timpul poate fi considerat o dovadă în favoarea ideii că timpul nu e fundamental. Cum putem explica săgeţile timpului dacă legile naturii sunt reversibile în timp? Săgeţile timpului reprezintă fiecare câte o asimetrie în timp; cum ar putea ele să apară din legi simetrice în raport cu timpul?

Răspunsul este că legile acţionează asupra condiţiilor iniţiale. Legile pot fi simetrice în raport cu inversarea direcţiei timpului, dar condiţiile iniţiale nu e necesar să fie la fel. Acestea pot evolua către condiţii finale care se disting cu uşurinţă de ele. De fapt, aşa se şi întâmplă: condiţiile iniţiale ale universului nostru par să fi fost fin reglate pentru a produce un univers asimetric în timp.

Iată un exemplu. Viteza iniţială de expansiune a universului, care e stabilită de condiţiile iniţiale, pare să fi maximizat producţia de galaxii şi stele. Dacă ar fi fost mult mai rapidă, universul s-ar fi diluat prea

repede pentru ca galaxiile şi stelele să se poată forma. Dacă ar fi fost prea lentă, universul ar fi putut să colapseze direct într-o singularitate finală, înainte ca stelele să fi avut vreo şansă să se formeze. Viteza de expansiune a fost ideală pentru producerea unui număr mare de stele, iar stelele sunt cele care, revărsând fotoni fierbinţi în spaţiul rece timp de miliarde de ani, menţin universul departe de echilibru, iar astfel explică săgeata termodinamică a timpului.

Săgeata electromagnetică a timpului poate fi de asemenea explicată prin condiţii iniţiale asimetrice în timp.[8] La începutul universului, n-au existat unde electromagnetice. Lumina a fost produsă doar mai târziu, prin mişcarea materiei. Se explică astfel de ce, atunci când privim în jur, imaginile purtate de lumină ne oferă informaţii despre materia din univers. Dacă ne-am ghida doar după legile electromagnetismului, putea fi altfel. Ecuaţiile electromagnetismului permit ca la

începutul universului lumina să se propage liber. Adică lumina s-ar fi putut forma direct la big bang, în loc să fie emisă mai târziu de materie. într-un univers precum acesta, orice imagini ale obiectelor, purtate de lumina emisă de materie, ar fi fost înecate în lumina provenită direct de la big bang.

într-o asemenea lume, privind în urmă cu telescoapele, nu am vedea stele şi galaxii. Am vedea doar o harababură aleatorie. De fapt, lumina formată la big bang ar putea purta imaginile unor lucruri care n-au existat niciodată, de pildă imaginea unei grădini cu elefanţi ronţăind sparangheli uriaşi.

Aşa ar arăta universul dacă l-am filma cândva în viitorul îndepărtat şi am derula filmul invers. în viitorul îndepărtat vor exista o sumedenie de imagini propagându-se de jur împrejur – imagini ale unor lucruri care au existat cândva. Dar dacă derulăm filmul invers, vedem un univers plin cu imaginile unor lucruri ce urmează să se întâmple. Lumina care poartă o imagine s-ar

scurge spre evenimentul reprezentat de acea imagine şi s-ar sfârşi acolo. Lumina pe care am vedea-o ne-ar informa numai asupra unor lucruri care urmează să se petreacă.

Nu trăim într-un asemenea univers, dar dacă soluţiilor legilor fizicii le corespund universuri posibile, am putea trăi această experienţă. Pentru a explica de ce vedem numai lucruri care se întâmplă sau care s-au întâmplat, dar niciodată lucruri care se vor întâmpla sau care nu se vor întâmpla niciodată, trebuie să impunem condiţii iniţiale stricte. Acestea interzic ca universul

[3] să conţină dintru început lumină care poartă imagini şi se deplasează nestingherită. Este o condiţie severă de asimetrie pe care trebuie s-o impunem, dar e necesară pentru a explica săgeata electromagnetică a timpului.

O poveste similară e valabilă pentru săgeata timpului a undelor gravitaţionale şi cea a găurilor

negre. Dacă legile fundamentale sunt simetrice în raport cu timpul, atunci întreaga povară a explicaţiei de ce universul nostru e asimetric în raport cu timpul cade pe seama alegerii condiţiilor iniţiale. De aceea trebuie să impunem condiţia ca iniţial în univers să nu existe unde[>)] gravitaţionale care se propagă liber, nici găuri negre primordiale sau timpurii, şi nici găuri albe.

Acest aspect a fost subliniat de Roger Penrose, iar el a propus un principiu care să-l explice şi pe care l-a numit *ipoteza curburii Weyl?* Curbura Weyl este o mărime matematică nenulă dacă există radiaţie gravitaţională, găuri negre sau albe. Principiul lui Penrose afirmă că în singularitatea iniţială această mărime se anulează. El observă că principiul e în acord cu ceea ce ştim despre universul timpuriu. Este o condiţie asimetrică temporal, fiindcă în mod cert nu e valabilă la momente ulterioare în univers. Mai târziu, universul are o mulţime de unde gravitaţionale şi o mulţime de găuri negre. Prin

urmare, susţine Penrose, pentru a explica universul pe care-l vedem, această condiţie asimetrică temporal trebuie impusă asupra alegerii soluţiei legilor (simetrice temporal) ale relativităţii generale.

Faptul că pentru a explica universul nostru e nevoie de condiţii iniţiale asimetrice în raport cu timpul slăbeşte în mare măsură argumentul că timpul este ireal, fiindcă legile naturii sunt simetrice în raport cu timpul. Nu putem să ignorăm rolul condiţiilor iniţiale şi să declarăm că trecutul şi viitorul sunt la fel, de vreme ce, pentru o concordanţă fie şi aproximativă cu universul nostru, trebuie alese condiţii iniţiale foarte diferite de condiţiile care au evoluat ulterior.[10]

Povara explicaţiei cade atunci pe seama întrebării cum au fost alese condiţiile iniţiale. Dar nu cunoaştem nici o explicaţie raţională pentru modul în care au fost alese, aşa încât ajungem într-un impas, lăsând fără răspuns o întrebare esenţială despre universul nostru.

Există o altă opţiune, mult mai

simplă. Credem că legile noastre sunt aproximaţii ale unei legi mai profunde. Şi dacă acea lege mai profundă e asimetrică în raport cu timpul?

Dacă legea fundamentală e asimetrică în raport cu timpul, la fel sunt şi majoritatea soluţiilor sale.[11] Nu ar fi atunci nici o problemă să explicăm de ce nu observăm niciodată lucrurile absurde care ar rezulta din derularea inversă a proceselor naturale: pentru că inversa în raport cu timpul a unei soluţii a legii nu va mai fi o soluţie, întrebarea de ce vedem numai imagini din trecut, nu şi din viitor, capătă răspuns. Faptul că universul e pronunţat asimetric în raport cu timpul s-ar explica direct prin asimetria temporală a legii fundamentale. Un univers asimetric în raport cu timpul nu ar mai fi improbabil, el ar fi necesar.

La asta cred că s-a gândit Penrose când a propus ipoteza curburii Weyl. Deosebirea dintre o fizică în apropierea singularităţii

iniţiale şi o fizică la un moment ulterior în univers ne-ar fi impusă de o teorie cuantică a gravitaţiei, care în viziunea lui Penrose trebuie să fie o teorie cu o pronunţată asimetrie temporală. Dar o teorie asimetrică în raport cu timpul este nenaturală dacă timpul e emergent. Dacă teoria fundamentală nu conţine o noţiune de timp, e cu neputinţă să distingem trecutul de viitor. Extrema improbabilitate a universului nostru ar rămâne în continuare neexplicată.

O teorie asimetrică în raport cu timpul este mult mai naturală dacă timpul e fundamental. Intr-adevăr, nimic n-ar fi mai natural decât să avem o teorie fundamentală care distinge trecutul de viitor, pentru că trecutul şi viitorul sunt foarte diferite. într-un cadru metafizic în care timpul şi curgerea momentelor dinspre trecut către viitor sunt reale, este perfect natural să avem legi asimetrice în raport cu timpul care guvernează un univers asimetric în raport cu timpul. Realitatea timpului câştigă aşadar

credibilitate din aceste consideraţii, fiindcă ne permite să evităm a lăsa fără explicaţie o improbabilitate enormă – pronunţata asimetrie în raport cu timpul a universului nostru. Să considerăm aceasta e încă un pas în descoperirea timpului.

*

Putem spune că universul este improbabil?

De mai multe ori în capitolul de faţă am afirmat că universul nostru sau condiţiile sale iniţiale sunt improbabile – de exemplu, atunci când am argumentat că e improbabil ca un univers guvernat de legi simetrice în raport cu timpul să aibă o săgeată a timpului. Dar de fapt ce înseamnă că universul e improbabil? Universul este unic şi se întâmplă o singură dată. Este singurul lucru în genul său. Nu ar trebui ca fiecare proprietate a sa să fie probabilă?

Pentru a lămuri această confuzie, trebuie să ştim ce se înţelege când spunem că un anumit sistem se află

într-o configuraţie improbabilă. în paradigma newtoniană aceasta are sens, fiindcă descrierea se referă la un subsistem al universului, care poate fi unul dintre numeroasele în genul său. Dar în mod evident nu se aplică universului în întregime.

Am putea încerca să definim probabilitatea ca universul nostru să aibă o anumită proprietate, presupunând că condiţiile iniţiale au fost alese la întâmplare din spaţiul configuraţiilor. Ştim însă că e o presupunere falsă: ştim că universul nostru nu a fost produs printr-o alegere întâmplătoare, datorită numeroaselor sale proprietăţi care ar fi extrem de improbabil să rezulte dintr-o asemenea alegere.

Putem evita această problemă închipuindu-ne că există un număr mare de universuri. După cum am văzut însă în capitolul 11, sunt două tipuri de teorii ale multiversului: cele în care universul nostru e atipic, deci improbabil, precum cele generate de inflaţia eternă; şi cele exemplificate de selecţia naturală

cosmologică, care generează un ansamblu de universuri în care universuri precum al nostru sunt probabile. Aşa cum am explicat în capitolul 11, doar în cel din urmă tip sunt posibile predicţii falsificabile pentru observaţii realizabile; în prima categorie trebuie folosit principiul antropic pentru a selecta tipurile noastre de universuri improbabile şi nu sunt posibile predicţii prin care ipotezele aflate la baza scenariului să poată fi testate independent. Trebuie să conchidem că, indiferent dacă există multe universuri sau doar unul singur, afirmaţia că universul nostru e improbabil nu are un conţinut empiric.

Dar întreaga ştiinţă a termodinamicii se bazează pe aplicarea noţiunii de probabilitate la microstarea unui sistem. Prin urmare, comitem eroarea cosmologică de fiecare dată când aplicăm termodinamica pentru a discuta o proprietate a întregului univers.[12] Singurul mod de a evita eroarea şi paradoxul unui univers

improbabil este să ne bazăm explicaţia faptului că universul e complex şi interesant pe o fizică asimetrică în raport cu timpul – o fizică în care un univers ca al nostru este inevitabil, iar nu improbabil.

Acesta nu e singurul exemplu în care fizicienii au ajuns la concluzii paradoxale comiţând eroarea de a aplica termodinamica la întregul univers. Ludwig Boltzmann, cel căruia i se datorează explicaţia statistică pentru entropie şi legea a doua a termodinamicii, a fost pare-se primul care a propus un răspuns la întrebarea de ce universul nu e în echilibru. El nu ştia despre expansiunea universului sau big bang; concepţia sa cosmologică era cea a unui univers etern şi static. Caracterul etern al universului era o mare problemă pentru el, deoarece însemna că acesta ar fi trebuit să ajungă deja la echilibru, dat fiind că avusese la dispoziţie un timp infinit.

Un motiv la care s-a gândit pentru ca universul să nu fie în echilibru a fost că sistemul nostru

solar şi regiunea înconjurătoare fuseseră de curând locul unei fluctuaţii foarte mari, în care Soarele, planetele şi stelele înconjurătoare se formaseră spontan dintr-un gaz aflat în echilibru. Entropia în regiunea noastră creşte, odată ce această regiune revine la echilibru. Era pesemne cel mai bun răspuns compatibil cu perspectiva cosmologică de care dispunea Boltzmann spre sfârşitul secolului XIX. Dar e greşit. Ştim asta acum, fiindcă putem privi în trecut până aproape de big bang şi la o distanţă corespunzătoare de 13 miliarde de ani-lumină, şi nu vedem nici o dovadă că regiunea noastră din univers ar fi o fluctuaţie cu entropie scăzută într-o lume statică aflată în echilibru. Vedem în schimb un univers care evoluează în timp, cu structuri la toate dimensiunile dezvoltându-se pe măsură ce universul se extinde.

Boltzmann nu putea şti toate acestea, dar există un argument pe care el sau contemporanii săi l-ar fi

putut folosi pentru a-i pune explicaţia la îndoială – decurgând din observaţia că, cu cât fluctuaţia e mai mică, cu atât ea apare mai des în starea de echilibru. Deci cu cât regiunea spaţială care se abate de la echilibru e mai mică, cu atât probabilitatea fluctuaţiei e mai mare.

Astronomii de pe vremea lui Boltzmann ştiau că diametrul universului era cel puţin de ordinul zecilor de mii de ani-lumină şi că el conţinea multe milioane de stele. Prin urmare, dacă regiunea noastră de spaţiu era rezultatul unei fluctuaţii, trebuia să fi fost o fluctuaţie extrem de rară – mult mai rară
J
decât altele, mai mici, care ne-ar fi putut conţine. Să considerăm o fluctuaţie care
J ?
conţine doar sistemul nostru solar. Ştim că nu ne găsim în aşa ceva, fiindcă altminteri noaptea nu am vedea decât radiaţia infraroşie provenind de la gazul în echilibru care ne-ar înconjura. Dar potrivit

presupunerilor lui Boltzmann, asemenea fluctuaţii ar trebui să apară mult mai frecvent într-un univers aflat în echilibru decât rezultă din ceea ce vedem – ar trebui să existe miliarde de fluctuaţii

»

conţinând câte o stea, fiecare la fel de departe de echilibru ca propriul nostru sistem solar. Este mult mai probabil să ne găsim într-o fluctuaţie de mărimea sistemului solar decât

5

într-una de mărimea galaxiei.[13]

Putem merge mai departe. Cea mai mare parte a sistemului solar e irelevantă pentru existenţa noastră, aşa încât este şi mai probabil să ne găsim pe Pământ, văzând pe cer doar o pată fierbinte, decât să ne găsim într-un sistem solar cu Soarele, alte şapte planete, comete şi tot restul. Dar acesta e doar începutul. Tot ce ştim cu adevărat este că suntem fiinţe gânditoare şi că ne percepem pe noi înşine existând într-o lume. Dar pentru a produce un creier cu amintiri şi

imagini ar fi nevoie de o fluctuaţie mult mai mică decât una care să producă o întreagă planetă cu fiinţe vii, rotindu-se în jurul unei stele uriaşe. Ne putem gândi deci la o fluctuaţie care produce doar un singur creier, un creier posedând amintirile şi experienţa completă a unei lumi imaginare — să-l numim *creier Boltzmann.*

Există aşadar un întreg spectru de posibilităţi pentru a explica improbabila noastră existentă ca o fluctuaţie în universul în echilibru etern al lui Boltzmann. Ne-am putea găsi într-o fluctuaţie de mărimea sistemului solar sau a galaxiei, una din trilioanele de fiinţe vii de pe o planetă, sau am putea fi doar o fluctuaţie de mărimea unui creier posedând imagini şi amintiri. Aceasta din urmă necesită mult mai puţină informaţie – altfel spus, mai puţină entropie negativă – prin urmare fluctuaţiile constând în creiere unice apar mult mai frecvent în
universul etern decât fluctuaţiile de mărimea J

sistemului solar sau a galaxiei, care conţin întregi populaţii de creiere.

Aceasta se numeşte *paradoxul creierului Boltzmann:* în univers, într-un timp etern, există incomparabil mai multe creiere formate prin mici fluctuaţii decât creiere care apar în procesul lent al evoluţiei şi necesită o fluctuaţie care durează miliarde de ani. Prin ? urmare, ca fiinţe conştiente, este copleşitor de probabil să fim creiere Boltzmann. Dar ştim că nu suntem asemenea creiere spontane – altminteri, experienţele şi amintirile noastre ar fi mai probabil să fie incoerente decât să fie coerente. Ar fi de asemenea improbabil ca creierele noastre să conţină imagini ale unui vast univers de galaxii şi stele în jurul nostru. Scenariul lui Boltzmann se dovedeşte aşadar a fi un exemplu clasic de *reducţia ad absurdum.*

Nu trebuie să ne mire, fiindcă am comis eroarea cosmologică, şi ea ne-a dus la o concluzie paradoxală. Perspectiva atemporală asupra fizicii întemeiată pe paradigma newtoniană şi-a dovedit neputinţa în

faţa întrebărilor fundamentale privind universul: de ce este el interesant şi de ce, la urma urmei, este atât de interesant încât fiinţe precum noi pot fi aici pentru a se minuna de el?

Dar dacă acceptăm realitatea timpului, facem posibilă o fizică asimetrică în raport cu timpul, în care universul poate să dezvolte în mod natural complexitate şi structură. Şi evităm astfel paradoxul unui univers improbabil.

---

17. Frank Owen Gehry (n. 1929), arhitect şi proiectant american de origine canadiană. Construcţiile sale sunt caracterizate de forme neconvenţionale şi distorsionate, creând senzaţia de fragmentar, asemenea unui colaj (n. tr.).

17. Timpul renăscut din căldură şi lumină

în capitolul precedent ne-am ocupat de una dintre cele mai mari enigme cosmologice: de ce universul este interesant şi pare să devină din ce în ce mai interesant odată cu trecerea timpului. Am văzut că încercările de abordare bazate pe perspectiva atemporală implicată de paradigma newtoniană au dus la două paradoxuri: afirmaţia că universul unic este improbabil şi paradoxul creierului Boltzmann. în capitolul acesta voi explica modul în care principiile unei noi teorii cosmologice, enunţate în capitolul 10, ne pot ajuta să înţelegem de ce universul este interesant, evitând totodată paradoxurile întâlnite în capitolul precedent.

Vom începe cu o întrebare simplă: poate universul să conţină două momente de timp identice?

Faptul că există o săgeată a timpului înseamnă că fiecare moment este unic. Cel puţin până acum, universul e diferit la momente de timp diferite; aceste deosebiri sunt vizibile în proprietăţile galaxiilor, de pildă, sau în abundenţele relative ale elementelor. întrebarea este dacă succesiunea momentelor este întâmplătoare sau reflectă un principiu mai profund. în teoriile prezentate în contextul paradigmei newtoniene, existenţa unei săgeţi a timpului pare întâmplătoare. într-un univers etern în echilibru, ne aşteptăm la o mulţime de perechi de momente identice sau foarte asemănătoare.

Dar există un principiu mai profund care susţine că două momente de timp nu pot fi identice. Acesta este principiul lui Leibniz al *identităţii indiscernabilelor,* pe care l-am prezentat în capitolul 10 ca o consecinţă a principiului raţiunii suficiente. Potrivit acestui principiu, în univers nu pot exista două obiecte indiscernabile, dar

distincte. Este o chestiune de bun-simt. Dacă obiectele se disting doar prin proprietăţile lor observabile, nu pot exista două obiecte discernabile care au exact aceleaşi proprietăţi.

Principiul lui Leibniz decurge din ideea fundamentală că proprietăţile fizice ale corpurilor sunt relaţionale. Ce se poate spune despre doi electroni, unul aflat într-un atom din cuvertura de pe pat, iar celălalt pe vârful unui munte de pe faţa nevăzută a Lunii? Acestea nu sunt particule identice, deoarece poziţia este una dintre proprietăţile lor. Din perspectivă relaţională, putem spune că ele sunt discemabile prin faptul că au împrejurimi discemabile.[1]

Nu există spaţiu absolut, de aceea nu are sens să întrebăm ce se întâmplă într-un anumit punct fără să dăm instrucţiuni pentru identificarea acelui punct. Aşadar nu putem localiza un obiect într-un punct dacă nu avem o metodă pentru a specifica acel loc. Un mod de a recunoaşte unde te afli e să

observi ce este unic în peisajul înconjurător. Să presupunem că cineva ar pretinde că două obiecte în spaţiu au exact aceleaşi proprietăţi şi exact acelaşi mediu înconjurător. Asta înseamnă că indiferent cât de departe de cele două obiecte am explora, am descoperi aceeaşi organizare a tuturor celorlalte lucruri din spaţiu. Dacă ar exista o asemenea situaţie stranie, unui observator i-ar fi imposibil să distingă un obiect de celălalt.

Prin urmare, a cere ca lumea să conţină două obiecte identice înseamnă a cere imposibilul. Ar trebui să existe două locuri identice în univers — locuri din care perspectiva asupra universului este exact aceeaşi. Universul în întregime este aşadar modelat în mare măsură de cerinţa aparent simplă ca el să nu conţină două obiecte identice.[2]

Acelaşi argument se aplică la două evenimente în spaţiu-timp. Principiul identităţii indiscernabilelor impune să nu

poată exista două evenimente în spaţiu-timp care să aibă exact aceleaşi proprietăţi observabile. Nu pot exista nici două momente de timp identice.

Când privim cerul noaptea, vedem universul din perspectiva unui anumit loc la un anumit moment de timp. Priveliştea include toţi fotonii care ajung la noi de aproape şi de departe. Dacă fizica este relaţională, atunci fotonii aceştia alcătuiesc realitatea intrinsecă a acelui eveniment particular — adică faptul că privim cerul nocturn din acel loc şi la acel moment. Principiul identităţii indiscernabilelor afirmă că priveliştea universului pe care o poate vedea un observator din fiecare eveniment din istoria universului e unică. Să presupunem că extratereştrii ne-au răpit în timp ce dormeam şi ne-au dus într-o călătorie în maşina lor a timpului. în principiu, dacă ne-am trezi într-o galaxie îndepărtată, am putea spune exact unde în univers ne găsim făcând o hartă a ceea ce

vedem privind în jur. De asemenea, am putea spune exact când în univers am fost transportaţi.

De aici rezultă că universul nostru nu poate avea simetrii exacte. De fapt, nici nu are, după cum am discutat în capitolul 10. Deşi simetriile sunt utile pentru analiza modelelor unor mici părţi din univers, toate simetriile postulate până acum de fizicieni sau dovedit a fi aproximative sau rupte.

Potrivit principiului identităţii indiscernabilelor, în universul nostru fiecare moment de timp şi fiecare loc în fiecare moment se deosebesc în mod unic de oricare altele. Nici un moment nu se repetă vreodată. Examinat suficient de amănunţit, fiecare eveniment din univers este unic. Intr-un asemenea univers, condiţiile necesare pentru a aplica paradigma newtoniană nu sunt niciodată complet îndeplinite. După cum am observat, acea metodă necesită să putem efectua experimentele de multe ori pentru a verifica repetabilitatea lor şi pentru a distinge efectul unei legi generale

de efectele modificării condiţiilor iniţiale. Aceasta se poate realiza aproximativ, dar niciodată exact, deoarece cu cât observăm mai multe detalii, cu atât devine mai clar că nici un eveniment sau experiment nu poate fi copia exactă a altuia.

Va fi util să avem un nume pentru universurile ipotetice în care fiecare moment de timp şi fiecare eveniment sunt unice. Vom numi *univers leibnizian* un univers care satisface principiul identităţii indiscernabilelor.

Acesta se deosebeşte radical de universul imaginat de Ludwig Boltzmann. în acea perspectivă asupra cosmologiei, majoritatea istoriei universului este dominată de perioade de echilibru termic, în care entropia este maximizată şi nu există structură sau organizare. Aceste lungi perioade inerte sunt întrerupte de perioade relativ scurte în care structura şi organizarea apar datorită unei fluctuaţii statistice — după care ele

se disipează dată fiind tendinţa entropiei de a creşte. Putem numi o asemenea lume *univers boltzmannian.*

întrebarea de care depinde viitorul este: trăim într-un univers leibnizian, sau într-unul boltzmannian? într-un univers leibnizian timpul este real, în sensul că nici un moment de timp nu e identic cu altul. într-un univers boltzmannian există o mulţime de momente

>

care revin — dacă nu exact, atunci cu orice grad de precizie dorim. Intr-un sens aproximativ, majoritatea momentelor unui univers boltzmannian seamănă cu toate celelalte, pentru că în starea de echilibru toate momentele sunt aproximativ la fel. Mărimile intensive, cum ar fi temperatura şi densitatea, care măsoară valori medii, sunt uniforme. Este adevărat că atomii fluctuează în jurul acestor valori medii, dar aproape niciodată suficient pentru a produce niveluri macroscopice de structură şi organizare. într- un univers boltzmannian, dacă aşteptăm un timp suficient de lung, universul se

va apropia oricât de mult vrem de repetarea oricărei configuraţii. în medie, aceste recurenţe aproximative sunt separate de timpul de recurenţă al lui Poincare. Dar dacă timpul este etern, fiecare moment se repetă de o infinitate de ori.

Un univers leibnizian este exact opusul: prin definiţie, nici un moment nu se repetă vreodată. Un univers nu poate fi atât boltzmannian, cât şi leibnizian. Aşadar, cum este al nostru?

Dacă timpul este real, trebuie să fie imposibil să existe două momente de timp diferite, dar identice. Timpul este pe deplin real numai într-un univers leibnizian. Un univers leibnizian va fi plin cu o complexitate care generează o gamă largă de tipare şi structuri unice. Şi va fi în permanentă schimbare, pentru a asigura că fiecare moment poate fi distins de oricare altul prin structurile şi tiparele prezente atunci. Aşa cum e într-adevăr universul nostru.

*

Este bine de ştiut că universul nostru pare să satisfacă un principiu general precum cel al identităţii indiscernabilelor, dar asta nu lămureşte tot misterul. Fiindcă nu principiile acţionează asupra materiei, ci legile. Trebuie să ştim cum acţionează principiul prin intermediul legilor pentru a fi garantat faptul că e satisfăcut. Intr-o anumită măsură, cunoaştem răspunsul – care se leagă de relaţia dintre gravitaţie şi termodinamică.

O componentă a actualului nostru univers leibnizian este aproape în echilibru termic; acesta este fondul cosmic de microunde (CMB) – dar ştim că CMB este o relicvă a universului timpuriu, care a apărut la aproximativ 400 000 de ani după big bang. Fără îndoială, echilibrul domneşte în vastele regiuni ale spaţiului interstelar şi intergalactic. O mare parte a universului e însă departe de echilibru. Cele mai obişnuite obiecte din universul nostru sunt stelele, iar acestea nu sunt în echilibru cu mediul lor înconjurător. într-o stea există

întotdeauna un echilibru dinamic între energia generată de reacţiile nucleare din centrul său, care ar face-o să explodeze, şi gravitaţie, care ar face-o să colapseze. Dar steaua va atinge ceea ce înţelegea Boltzmann prin echilibru abia după epuizarea combustibilului nuclear, când ea se stabilizează ca pitică albă, stea neutronică sau gaură neagră (caz în care poate deveni motorul unui sistem de acreţie, accelerând apoi spre exterior materia captată). Asemenea sisteme nu sunt însă în echilibru; ele sunt stări staţionare dinamice.

O stea poate fi considerată drept un sistem menţinut departe de echilibru printr-un flux constant de energie care-l străbate. Energia provine atât din reacţii nucleare, cât şi din energia potenţială gravitaţională, fiind convertită lent în lumină stelară într-o anumită gamă de frecvenţe. Lumina stelei ajunge apoi la suprafaţa unor planete, precum a noastră, şi le aduce în propriile lor stări departe-de-echilibru.

Acesta este un exemplu al unui principiu general[3]: *Fluxurile de energie prin sisteme deschise tind să le aducă în stări cu un nivel mai înalt de organizare.* („Sistemele deschise”, să ne aducem aminte, sunt orice sisteme mărginite care pot schimba energie cu mediul lor înconjurător.) Putem numi aceasta *principiul auto-organizării induse [driven self-organization].* Dacă principiul raţiunii suficiente este principiul explicativ suprem în natură, iar identitatea indiscernabilelor este prinţul ei, atunci principiul auto-organizării induse este îngerul cel bun care face munca de amănunt în puzderia de stele şi galaxii pentru a asigura un univers complex şi divers.

Să umplem o oală cu apă şi s-o aşezăm pe aragaz. Sistemul (oala şi apa din ea) este deschis, fiindcă energia e introdusă lent prin fundul oalei, încălzeşte apa, după care iese prin suprafaţa lichidului şi se răspândeşte în aer. Ca lucrurile să fie cât mai simple, să punem un capac pe oală, pentru a împiedica

apa să iasă când se transformă în aburi. După o vreme, apa ajunge într-o stare staţionară în care nici temperatura, nici densitatea sa nu sunt uniforme. Temperatura apei este mai mare la fundul oalei şi scade către suprafaţă; densitatea se comportă invers. Energia care trece prin apă a scos-o din starea de echilibru. Curând începe să apară o structură: cicluri de convecţie, în care apa se mişcă într-un mod ordonat în coloane. Ciclurile sunt acţionate de căldura introdusă prin partea inferioară. Apa se încălzeşte, se dilată, şi ca urmare se mişcă în sus într-o coloană ascendentă. La suprafaţă, ea cedează o parte din căldură, devine mai densă decât apa din jur şi se afundă, creând o coloană descendentă de apă. Fiindcă apa nu poate să urce şi să coboare în acelaşi spaţiu, se formează o structură prin separarea coloanelor ascendentă şi descendentă.

Fluxul staţionar de energie printr-un sistem poate produce tipare şi structuri complexe, dovadă că

aceste sisteme sunt departe de echilibrul termodinamic. Un alt exemplu sunt ondulaţiile create de vânt pe dunele de nisip. La celălalt capăt al spectrului complexităţii este viaţa. Ambele, şi multe lucruri aflate între ele, sunt rezultatul fluxului staţionar de energie printr-un sistem. Asta înseamnă, între altele, că sistemele auto-organizate complexe nu sunt niciodată izolate.

Aceste fluxuri produc sisteme categoric leibniziene. Fiinţele vii tind să existe într-un număr mare de copii, dar fiecare poate fi distinsă de celelalte. Şi cu cât urcăm mai sus pe scara evoluţiei, cu atât indivizii pot fi distinşi mai uşor unul de altul.

Există multă ştiinţă frumoasă pe parcurs. Problema este că, aşa cum am observat în capitolul precedent, legea a doua a termodinamicii nu poate fi aplicată decât unui sistem izolat, închis într-o cutie care împiedică schimbul de materie şi energie cu exteriorul. Nici un sistem viu nu e izolat. Cu toţii călătorim pe fluxuri de materie şi

energie – fluxuri acţionate în ultimă instanţă de energia provenită de la Soare. Dacă suntem închişi într-o cutie (ca o prefigurare a înhumării noastre finale), murim.

Aristotel a avut deci dreptate când a înţeles că tărâmul pământesc e împiedicat să ajungă la echilibru datorită fluxului de energie care-l străbate. Insuficienta înţelegere a acestei idei i-a făcut pe unii oameni de ştiinţă şi filozofi să vadă un conflict între legea a doua a termodinamicii şi faptul că selecţia naturală produce structuri din ce în ce mai improbabile. Nu există nici o contradicţie, pentru că legea creşterii entropiei nu se aplică biosferei, care nu e un sistem izolat. într-adevăr, selecţia naturală este un mecanism de auto-organizare ce poate să apară spontan ca o consecinţă a tendinţei sistemelor acţionate din exterior de a se organiza.

În contextul sistemelor cu auto-organizare putem înţelege mai bine ce trăsături fac ca un sistem să fie complex. Sistemele extrem de

complexe nu pot fi în echilibru, întrucât ordinea nu este aleatorie, prin urmare entropia înaltă şi un grad înalt de complexitate nu pot coexista. A spune despre un sistem că e complex nu înseamnă doar că are entropie scăzută. Un şir de atomi aşezaţi în linie are entropie scăzută, dar nu s-ar putea spune că e complex. O caracterizare mai bună a complexităţii, propusă de Iulian Barbour şi de mine, se referă la ceea ce numim varietate [varieţy]: un sistem are varietate înaltă dacă oricare două subsisteme ale sale pot fi distinse unul de celălalt furnizând o cantitate minimă de informaţie despre modul cum sunt conectate între ele sau cum se raportează la întreg.[4] Un oraş are varietate înaltă, deoarece privind în jur poţi spune cu uşurinţă unde anume te afli. Asemenea condiţii apar în natură în sistemele aflate departe de echilibru ca rezultat al proceselor de auto-organizare.

O trăsătură omniprezentă a unor asemenea sisteme cu auto-

organizare este că ele sunt stabilizate prin mecanisme de feedback. Orice fiinţă vie este o reţea complexă de procese de feedback care reglează, canalizează şi stabilizează fluxurile de energie şi materie care o străbat. Feedback-ul poate fi pozitiv, ceea ce înseamnă că accelerează producerea a ceva (precum ţiuitul unui microfon când ajunge prea aproape de un difuzor). Feedback-ul negativ acţionează pentru atenuarea unui semnal, ca în termostatul care porneşte încălzirea când e prea frig în casă şi o opreşte când e prea cald.

Atunci când diferite mecanisme de feedback concurează pentru a controla un sistem, se formează tipare în spaţiu şi timp. Când un mecanism de feedback pozitiv concurează cu un mecanism de feedback negativ, dar ele acţionează la scări diferite, pot rezulta tipare în spaţiu. Acest mecanism de bază al auto-organizării biologice, descoperit de Alan Turing[5], acţionează pentru a

produce într-un embrion tiparele marcând părţile corpului ce urmează a se forma. Mai târziu, el poate să acţioneze din nou, pentru a produce tipare pe pielea unei pisici, de exemplu, sau pe aripile unui fluture.

Ce vedem dacă privim dincolo de scara dimensională a stelelor şi sistemelor solare? Stelele sunt organizate în galaxii, fiindcă acolo se formează ele. Galaxiile sunt ele însele departe de echilibrul termodinamic. Propria noastră Cale Lactee este o galaxie spirală tipică. Ea conţine nu doar stele, ci şi enormi nori interstelari de gaz şi praf, din care se formează stelele. Gazul se acumulează lent din exterior în planul discului galactic; acesta e unul dintre mecanismele schimbării într-o galaxie. Praful e produs de stele şi injectat în discul galactic atunci când ele explodează ca supernove în finalul vieţii lor. Gazul şi praful există în faze diferite; o parte e foarte fierbinte, iar o parte e condensată în nori foarte reci. Procesele de auto-

organizare într-o galaxie sunt acţionate de lumina stelară – fluxuri de energie provenite de la stele. Din când în când, o stea masivă explodează ca supernovă, şi aceasta revarsă de asemenea multă energie şi materie în galaxie. Vedem structuri şi la o scară mai mare decât cea a galaxiilor, care sunt organizate în roiuri şi filamente separate de goluri. Se crede că aceste tipare sunt formate de materia întunecată şi menţinute laolaltă prin interacţiunile sale.

Universul nostru actual este aşadar caracterizat de structură şi complexitate într- o gamă largă de dimensiuni, de la organizarea moleculelor în celule vii la organizarea galaxiilor în roiuri. Există o ierarhie a sistemelor cu auto-organizare, acţionate de fluxuri de energie şi stabilizate şi modelate prin procese de feedback. Universul acesta e în mult mai mare măsură leibnizian decât boltzmannian.

Ce vedem dacă privim în urmă? Vedem un univers care evoluează

de la structuri mai simple la structuri mai complicate, de la echilibru la complexitate.

Avem motive întemeiate să credem că în universul timpuriu materia şi radiaţia erau aproape în echilibru termic. Materia şi radiaţia erau într-o stare fierbinte, cu o temperatură remarcabil de uniformă, care creşte pe măsură ce ne întoarcem mai mult în timp. înainte de era decuplării (separarea fotonilor de materie la 400 000 de ani după big bang), materia era în echilibru cu radiaţia – un echilibru care, din câte ştim, era perturbat numai de fluctuaţii aleatorii ale densităţii. Toată structura şi complexitatea pe care le vedem în prezent s-a format după ce materia şi radiaţia s-au decuplat. Germenii structurilor iniţiale au fost micile fluctuaţii aleatorii ale densităţii, iar aceste structuri au crescut odată cu expansiunea universului. Au apărut galaxiile, pe urmă stelele, pe urmă viata.

Cu siguranţă nu aceasta e

imaginea pe care ar sugera-o aplicarea naivă a legii a doua a termodinamicii. Legea a doua spune că în sistemele izolate aleatoriul creşte, ele devenind mai dezordonate şi mai puţin complexe şi structurate odată cu trecerea timpului. Este contrariul a ceea ce vedem că se întâmplă în istoria universului nostru, în care complexitatea creşte pe măsură ce se formează structuri la multe scări dimensionale, structurile cele mai complicate fiind cele mai recente.

Evoluţia complexităţii necesită timp. Niciodată n-a existat un sistem complex static. Marea lecţie este că universul nostru are o istorie, şi că e o istorie în care complexitatea creşte cu timpul. Nu doar că universul nu este boltzmannian, dar el devine tot mai puţin boltzmannian odată cu trecerea timpului.

Aceasta nu abrogă legea a doua a termodinamicii. Legea a doua se aplică unor sisteme izolate, iar ele ajung la echilibru în decursul timpului. Mai mult, formarea

complexităţii este de fapt compatibilă cu o creştere a entropiei, atât timp cât creşterea entropiei şi sporirea complexităţii se produc în locuri diferite. Biosfera Pământului se organizează de aproape 4 miliarde de ani, încă de la apariţia vieţii pe planeta noastră. Creşterea organizării este acţionată de fluxul de energie de la Soare, care ajunge sub formă de fotoni, mai ales în domeniul luminii vizibile, captată prin fotosinteză în plante. Fotosinteza captează energia fotonilor în legături chimice. Sub forma aceasta, energia poate cataliza reacţii chimice capabile, de exemplu, să formeze o moleculă de proteină. Energia traversează până la urmă biosfera, iese sub formă de căldură, iar în cele din urmă e radiată ca fotoni infraroşii în spaţiul cosmic. Următorul popas al unui foton ar putea fi pentru a încălzi un fir de praf aflat pe orbită în jurul Soarelui.

O singură cuantă de energie poate cataliza formarea unei molecule complexe, reducând astfel

entropia biosferei, dar când este radiată în spaţiu ca lumină infraroşie, ea creşte entropia sistemului solar în ansamblul lui. Atâta timp cât creşterea entropiei provocată de încălzirea unui fir de praf undeva în spaţiu e mai mare decât scăderea entropiei provocată de formarea unei legături moleculare, rezultatul pe termen lung e în acord cu legea a doua.

Prin urmare, dacă considerăm sistemul solar ca un sistem izolat, faptul că părţi ale lui sunt supuse auto-organizării este compatibil cu o creştere globală a entropiei sale. Sistemul în ansamblu încearcă să ajungă la echilibru şi îşi va mări entropia acolo unde poate. Legea a doua îşi dă toată silinţa să aducă sistemul solar la echilibru, dar atâta timp cât există o stea mare care radiază fotoni fierbinţi în spaţiul rece, echilibrul este amânat. Pe durata acestei amânări, moleculele se pot lăsa purtate de fluxul de energie către stări tot mai organizate şi mai complexe. Iar stelele ard vreme de miliarde de

ani, aşa încât complexitatea are suficient timp să prolifereze. Existenţa stelelor explică în bună măsură de ce universul este departe de echilibru la aproape 14 miliarde de ani după formarea sa.

*

Dar de ce există stele? Dacă universul trebuie să tindă către entropie şi dezordine, cum se face că stelele, care îndepărtează universul de echilibru, sunt omniprezente? Altfel spus: pentru ca universul să fie leibnizian, trebuie să existe ceva de felul stelelor. Ce caracteristici ale legilor naturii le garantează existenţa?

Fizica stelelor se bazează pe două caracteristici neobişnuite ale legilor naturii. Prima este reglajul incredibil de fin al parametrilor care guvernează fizica. Aceste reglaje fine includ masele particulelor elementare şi tăriile celor patru forţe. Ele fac posibilă fuziunea nucleară, aşa încât hidrogenul conţinut într-o stea nu se comportă la fel ca în absenţa forţelor

nucleare. În loc să se mişte de colo-colo la întâmplare, atomii de hidrogen înghesuiţi în centrul unei stele pot interacţiona într-un mod nou. Ei fuzionează formând heliu şi alte câteva elemente uşoare. E ca şi cum ai fi prizonier într-o celulă, zile în şir, în acelaşi echilibru monoton. Fiecare oră este la fel ca toate celelalte. După care brusc se deschide o uşă care nu a existat înainte, şi evadezi într-o lume cu totul nouă. Legile termodinamicii aplicate unor atomi generici nu ar prezice niciodată fuziunea nucleară şi posibilităţile cărora ea le dă naştere.

A doua caracteristică neobişnuită este legată de comportamentul sistemelor unite prin forţa gravitaţiei. într-un mod foarte simplu, gravitaţia subminează ideile noastre naive asupra termodinamicii.

O observaţie din viaţa de zi cu zi, care e totodată o consecinţă a legii a doua a termodinamicii, este curgerea căldurii de la corpurile mai calde către corpurile mai reci.

Gheaţa se topeşte. Apa de pe aragaz fierbe. Căldura încetează să mai curgă atunci când temperatura celor două corpuri este aceeaşi; ele au ajuns în starea de echilibru. În mod normal, când extragem energie dintr-un corp, temperatura lui scade, iar când i se furnizează energie, el se încălzeşte. Prin urmare, atunci când căldura curge de la un corp mai cald către unul mai rece, al doilea se încălzeşte, iar primul se răceşte. Acest fenomen continuă până când temperaturile lor devin egale. De aceea aerul dintr-o încăpere are aceeaşi temperatură. Dacă nu ar avea, atunci energia ar curge dinspre partea caldă către cea rece până când s-ar atinge o temperatură comună.

Comportamentul acesta face ca un sistem în echilibru să fie stabil fată de efectele micilor fluctuaţii. Să presupunem că, printr-o mică fluctuaţie, o parte a încăperii a devenit puţin mai caldă decât cealaltă. Energia va curge dinspre partea caldă, răcind-o, înspre

partea mai rece, încălzind-o, aşa încât curând temperatura e din nou uniformă. Majoritatea sistemelor se comportă în modul acesta uşor de intuit. Dar nu toate.

Imaginaţi-vă că există un gaz care se comportă invers, răcindu-se dacă îi adăugăm energie şi încălzindu-se dacă îi luăm din energie. Poate părea contraintuitiv, dar există asemenea gaze. Ele sunt în mod necesar instabile. Să presupunem că în starea iniţială o cameră e umplută cu un gaz de felul acesta aflat la aceeaşi temperatură. O mică fluctuaţie deplasează puţină energie din partea stângă în cea dreaptă. Atunci partea stângă se încălzeşte, în vreme ce partea dreaptă se răceşte. Asta face ca şi mai multă energie să curgă dinspre partea stângă, cea fierbinte, către partea rece. în acest proces partea stângă nu se va răci; dimpotrivă, ea se va încălzi şi mai tare. Iar pe măsură ce energia se scurge în partea dreaptă mai rece, aceasta se răceşte şi mai tare. Curând avem o instabilitate scăpată de sub control, în care cele

două părţi ale camerei sunt obligate să-şi mărească întruna diferenţa de temperatură.

Iar acum să privim doar partea fierbinte şi să repetăm scenariul. Să presupunem că apare o altă fluctuaţie, care răceşte puţin centrul părţii fierbinţi. Acelaşi fenomen acţionează ca feedback pozitiv pentru a răci şi mai mult centrul şi a încălzi şi mai mult regiunea din jurul său. Cu trecerea timpului, mica fluctuaţie creşte şi devine o caracteristică. Aceasta se poate întâmpla iar şi iar. Curând avem un tipar complex de regiuni reci şi fierbinţi.

Un sistem care se comportă astfel ajunge în mod natural să formeze tipare complexe. E greu de prezis unde va sfârşi un asemenea sistem, fiindcă există un număr enorm de configuraţii eterogene, cu tipare, către care ar putea să evolueze. Acestea se numesc *sisteme anti-termodinamice.* Legea a doua operează şi în ele, dar întrucât o regiune căreia i se furnizează energie se răceşte, starea în care

gazul e distribuit uniform este extrem de instabilă.

Sistemele menţinute laolaltă prin gravitaţie se comportă în modul acesta excentric. Stelele, sistemele solare, galaxiile şi găurile negre, toate sunt anti- termodinamice. Ele se răcesc atunci când li se furnizează energie. Ceea ce înseamnă că toate aceste sisteme sunt instabile. Instabilităţile le îndepărtează de uniformitate şi stimulează formarea de tipare în spaţiu şi timp. Aceasta e în strânsă legătură cu faptul că, la 13,7 miliarde de ani după ce s-a format, universul nu se află în echilibru. Creşterea structurii şi a complexităţii ce caracterizează istoria universului se explică în mare parte prin faptul că sistemele legate gravitaţional care-l umplu, de la roiuri de galaxii la stele, sunt anti-termodinamice.

Este uşor de înţeles de ce asemenea sisteme sunt anti-termodinamice. Două trăsături fundamentale deosebesc gravitaţia de alte forţe: forţa gravitaţională (1)

are rază
lungă de acţiune şi (2) este în mod universal atractivă. Să considerăm o planetă care se roteşte în jurul unei stele. Dacă i se furnizează energie, ea se va muta pe o orbită mai îndepărtată de stea, unde se mişcă mai încet. Prin urmare, furnizarea energiei reduce viteza planetei, ceea ce scade temperatura sistemului – temperatura nefiind altceva decât viteza medie a obiectelor din sistem. Invers, dacă se extrage energie din sistemul solar, planeta trebuie să reacţioneze apropiindu-se de stea, unde se mişcă mai repede. Extragerea energiei duce aşadar la încălzirea sistemului.

Putem compara asta cu comportamentul unui atom, care e menţinut laolaltă de forţa electrică dintre sarcini. La fel ca gravitaţia, forţa electrică acţionează pe distanţe lungi, cu deosebirea că este atractivă doar între sarcinile de semn opus. Un proton încărcat pozitiv va atrage un electron încărcat negativ, dar odată ce

electronul este legat de proton, atomul rezultat nu are o sarcină netă. Se spune că forţa e saturată, iar atomul nu atrage nici o altă particulă. Un sistem solar se comportă invers, fiindcă atunci când o stea atrage un număr de planete, sistemul rezultant este şi mai atractiv pentru corpurile în trecere decât ar fi fost steaua singură. Iată aşadar o altă instabilitate – un sistem legat prin gravitaţie va atrage şi mai multe corpuri către el.

Acest comportament anti-termodinamic se manifestă în dezagregarea roiurilor de stele. Dacă un roi de stele ar acţiona termodinamic, el ar ajunge la echilibru – în cazul acesta o stare în care toate stelele sale au aceeaşi viteză medie şi rămân grupate pentru totdeauna. în schimb, ceea ce se întâmplă este că roiul de stele se disipează lent. Aceasta are loc într-un mod interesant. Din când în când, o stea se apropie de o stea dublă – adică două stele care se rotesc una în jurul celeilalte. O

apropiere la mică distanţă poate avea ca rezultat o orbită mai strânsă pentru steaua dublă. Această contracţie orbitală eliberează energie, care e transmisă celei de-a treia stele. A treia stea are acum suficientă energie pentru a evada din roi, şi ea porneşte într-o călătorie prin spaţiu. După un timp îndelungat, tot ce mai rămâne din roiul de stele sunt câteva stele duble pe orbite strânse şi un nor de stele care se îndepărtează rapid.

Aceasta nu contrazice legea a doua, ci doar o interpretare naivă a ei. Legea că entropia trebuie de regulă să crească nu face decât să codifice truismul potrivit căruia cu cât sunt mai multe moduri pentru ca ceva să se întâmple, cu atât este mai probabil că se va întâmpla. Sistemele termodinamice obişnuite sfârşesc în starea unică, anostă, de echilibru uniform; sistemele legate gravitaţional, care sunt anti-termodinamice, sfârşesc într-una dintr-un număr mare de stări foarte eterogene.

Aşadar, faptul că universul nostru

e interesant are o triplă explicaţie: *principiul auto-organizării induse* acţionează asupra unei puzderii de subsisteme la toate dimensiunile, de la moleculară la galactică, făcându-le să evolueze către stări din ce în ce mai complexe. Motoarele care acţionează acel proces sunt stelele, care există datorită unei combinaţii între *reglajul fin al legilor fundamentale* şi *natura anti-termodinamică a gravitaţiei.* Dar aceste forţe pot produce un univers plin cu stele şi galaxii numai dacă condiţiile iniţiale ale universului au o
> ,
pronunţată asimetrie temporală.

Toate acestea pot fi încadrate şi într-o anumită măsură înţelese în paradigma newtoniană. Dar dacă continuăm să gândim în cadrul acelei paradigme, organizarea lumii pare că se bizuie pe enorme improbabilităţi – caracterul extrem de special al alegerii legilor şi condiţiilor iniţiale. Concluzia tristă este că singurul tip de univers ce pare natural din perspectiva

atemporală a paradigmei newtoniene este un univers mort aflat în echilibru, evident nu tipul de univers în care trăim. Dar din perspectiva realităţii timpului, este absolut natural ca universul şi legile sale fundamentale să fie asimetrice în raport cu timpul, cu o săgeată a timpului pronunţată care cuprinde creşteri ale entropiei pentru sistemele izolate, împreună cu dezvoltarea continuă a structurii şi complexităţii.

18. Spaţiu infinit, sau timp infinit?

Am văzut că, acceptând realitatea timpului, putem înţelege de ce universul este plin de structuri şi de complexitate. Dar cât timp poate el să rămână complex şi structurat? Echilibrul poate fi amânat la nesfârşit? Poate că ne găsim într-o bulă de complexitate, într-un univers mult mai vast aflat în echilibru.

Aceasta ne aduce la subiectul cel mai speculativ din cosmologia modernă: distanţele foarte mari şi viitorul îndepărtat.

Nu există noţiune mai romantică decât infinitul, dar în ştiinţă conceptul acesta poate duce cu uşurinţă la confuzie. Să ne imaginăm că universul este infinit ca extindere spaţială. Să ne imaginăm de asemenea că aceleaşi legi sunt valabile pretutindeni, dar condiţiile iniţiale au fost alese la

întâmplare. Aceasta este imaginea universului boltzmannian perfect. Universul infinit este aproape în întregime în echilibru termodinamic; orice lucru interesant care se întâmplă e consecinţa unei fluctuaţii. Dar orice se poate întâmpla într-o fluctuaţie se va întâmpla undeva, iar dacă aceste „undeva-uri” sunt disponibile în cantitate infinită, fiecare fluctuaţie, indiferent cât de improbabilă, se va întâmpla de o infinitate de ori.[1]

Prin urmare, universul observabil ar putea fi doar o mare fluctuaţie statistică. Dacă

[3]

universul e într-adevăr infinit, atunci universul observabil, care este o regiune cu diametrul de aproximativ 93 de miliarde de ani-lumină, se va repeta de o infinitate de ori în infinitatea spaţiului. Aşadar, dacă universul este infinit şi boltzmannian, noi existăm, exact aşa cum suntem, şi acţionăm, exact aşa cum acţionăm, de o infinitate de ori.

Aceasta violează cu siguranţă

principiul leibnizian că în univers nu pot exista două locuri identice.

Dar nu numai atât. Imaginaţi-vă, în orice fel doriţi, că ziua de azi putea fi diferită. Eu puteam să nu mă fi născut. Sau tu să te fi măritat cu primul tău prieten. Cineva s-a îmbătat cu un an în urmă, nu a ascultat sfatul prietenilor mei, a condus maşina spre casă, iar pe drum a lovit şi a omorât un copil. Vărul tău a fost schimbat din greşeală la naştere, a fost crescut de o familie abuzivă şi a devenit un ucigaş în serie. A evoluat o specie de dinozauri inteligenţi care au rezolvat problema schimbării climatice şi continuă să domine planeta, aşa încât mamiferele nu au preluat niciodată controlul. Toate acestea sunt lucruri care s-ar fi putut întâmpla, aducându-ne într-o altă configuraţie prezentă a universului. Fiecare asemenea configuraţie prezentă este un mod posibil în care atomii din vecinătatea noastră s-ar fi aranjat. Aşa încât fiecare apare de o infinitate de ori în infinitatea

spaţiului.

Pentru mine, este o perspectivă înfricoşătoare. Ea ridică probleme etice, căci de ce mi-ar păsa de consecinţele alegerilor mele, de vreme ce toate celelalte alegeri sunt făcute de alte versiuni ale mele în alte regiuni ale universului infinit? Eu pot opta să am grijă de copilul meu în lumea asta, dar n-ar trebui oare să-mi pese şi de copiii din alte lumi care suferă din cauza deciziilor rele luate de alte euri ale mele?

Pe lângă aceste probleme etice, există aspecte care ţin de utilitatea ştiinţei. Dacă într-adevăr tot ce se poate întâmpla se întâmplă efectiv, atunci rostul explicaţiilor se reduce mult. Principiul raţiunii suficiente al lui Leibniz cere să existe un motiv raţional pentru fiecare caz în care universul este într-un fel, dar putea fi şi altfel. Insă dacă universul este în toate felurile posibile, atunci nu e nimic de explicat. Poate că ştiinţa ne permite să cunoaştem condiţiile locale, dar în ultimă instanţă e un exerciţiu zadarnic, pentru că adevărata lege va fi pur şi simplu că

tot ce se poate întâmpla se întâmplă de o infinitate de ori, chiar acum. Aceasta e un fel de *reducţia ad absurdum* a paradigmei newtoniene extinsă asupra cosmologiei – şi o altă exemplificare a erorii cosmologice. Eu o numesc *tragedia boltzmanniană infinită.*

Un motiv pentru care e o tragedie este că puterea predictivă a fizicii se reduce considerabil, fiindcă probabilităţile nu înseamnă ce s-ar putea crede. Să presupunem că efectuăm un experiment pentru care mecanica cuantică prezice că rezultatul A are o probabilitate de 99%, iar rezultatul B are o probabilitate de 1%. Să presupunem că repetăm experimentul de 1.000 de ori. Ne-am putea aştepta atunci ca de aproximativ 990 de ori să obţinem rezultatul A. Am paria cu încredere pe A, pentru că ne aşteptăm în mod rezonabil ca A să apară cam de 99 de ori pentru fiecare B. Am avea şanse bune să confirmăm predicţia mecanicii cuantice. Dar într-un univers infinit există o infinitate de copii ale

noastre care efectuează experimentul. O infinitate dintre aceste copii observă rezultatul A, dar tot o infinitate observă şi rezultatul B. Prin urmare predicţia mecanicii cuantice că unul dintre rezultate este de 99 de ori mai frecvent decât celălalt nu este verificabilă într-un univers infinit.

Aceasta se numeşte *problema măsurii* în cosmologia cuantică. După ce am citit şi i- am ascultat pe oamenii inteligenţi care se ocupă de ea, părerea mea este că nu poate fi rezolvată. Prefer să cred că mecanica cuantică oferă dovada că trăim într-un univers finit care conţine o singură copie a mea.

Putem evita implicaţiile tragediei unui univers infinit negând că el este infinit în spaţiu. Deşi, bineînţeles, nu putem vedea dincolo de o anumită distanţă, mi se pare plauzibil şi de bun-simţ să presupunem că universul este finit ca extindere spaţială – ca în propunerea lui Einstein că este finit, dar nemărginit. Asta înseamnă că universul are topologia globală a

unei suprafeţe închise, precum o sferă sau un covrig (adică un tor).

Propunerea aceasta nu contrazice observaţiile noastre. Care topologie este corectă depinde de curbura medie a spaţiului. Dacă curbura e pozitivă, ca în cazul unei sfere, atunci există o singură posibilitate, anume analogul tridimensional al topologiei bidimensionale a sferei. Dacă curbura medie a spaţiului e zero, ca în cazul unui plan, există de asemenea o opţiune pentru un univers finit, care este analogul tridimensional al topologiei bidimensionale a unui tor. Dacă curbura e negativă, ca în cazul unei şei, atunci există un număr infinit de posibilităţi pentru topologia sa. Acestea sunt prea complexe pentru a le prezenta aici, iar catalogarea lor a fost un triumf al matematicii de la finele secolului XX.

Propunerea lui Einstein e o ipoteză ce ar putea fi confirmată. Dacă universul este închis şi suficient de mic, atunci lumina îi poate da ocol şi ar trebui să vedem imagini multiple ale galaxiilor

îndepărtate. S-a căutat aşa ceva, dar până acum nu s-a găsit.

Există însă un motiv întemeiat pentru a prefera ca o teorie cosmologică să fie modelată de un spaţiu-timp închis spaţial. Dacă universul nu e închis spaţial, el ar trebui să aibă o extindere spaţială infinită. Ceea ce înseamnă, într-un mod contraintuitiv, că spaţiul are o graniţă. Graniţa aceasta e infinit de departe, şi totuşi este o graniţă prin care informaţia poate trece.[2] în consecinţă, un univers infinit în spaţiu nu poate fi considerat un sistem de sine stătător. El trebuie considerat o parte a unui sistem mai vast, care include toate informaţiile care intră prin graniţă.

Dacă graniţa ar fi la o distanţă finită, neam putea imagina că există spaţiu şi în exteriorul ei. Informaţiile despre graniţă ar fi explicabile în termenii a ceea ce vine din lumea aflată dincolo de ea.[3]

însă graniţa de la infinit nu ne permite să ne imaginăm o lume aflată dincolo de ea. Ni se cere pur şi simplu să precizăm informaţiile

despre ce intră şi ce iese pe acolo, dar alegerea e complet arbitrară. Nu pot exista explicaţii suplimentare pentru informaţia care intră în univers prin graniţa aflată la infinit: trebuie făcută o alegere, iar alegerea e arbitrară. Trebuie aşadar să admitem că nimic nu poate fi explicat în vreun model de univers care are o graniţă la infinit. Principiul închiderii explicative e încălcat, iar odată cu el şi principiul raţiunii suficiente.

Argumentul acesta conţine subtilităţi tehnice pe care nu le voi menţiona aici. Dar este un argument esenţial care, din câte ştiu, e ignorat de cosmologii care speculează că universul este infinit în spaţiu. Nu văd nici o posibilitate de a evita concluzia că orice model de univers trebuie să fie închis spaţial, fără graniţă.

Prin urmare, nimic nu este infinit de departe şi nu există spaţii infinite care să creeze dificultăţi. Să ne întoarcem acum atenţia de la depărtările infinite către viitorul infinit.

*

Literatura cosmologilor e plină de anxietate cu privire la viitor. Dacă universul este, deocamdată, mai curând leibnizian decât boltzmannian, ar putea fi astfel doar temporar? Poate că pe termen lung nu numai noi toţi vom muri, ci şi universul va muri.

Restricţia la universuri finite spaţial ne fereşte de multe dintre tragediile şi paradoxurile unui univers boltzmannian infinit. Dar nu de toate. Un univers finit şi închis spaţial poate trăi un timp infinit, iar dacă nu se contractă niciodată, se va extinde veşnic. El dispune aşadar de un timp infinit ca să ajungă la echilibru termic. în acest caz, indiferent cât de mult ar dura, va rămâne un timp infinit şi un volum tot mai mare de spaţiu pentru ca fluctuaţiile să creeze structuri improbabile. în consecinţă, putem susţine şi de data aceasta că tot ce se poate întâmpla se va întâmpla până la urmă de o infinitate de ori. Ceea ce ne duce din nou la

paradoxul creierului Boltzmann. Pentru ca principiile raţiunii suficiente şi al identităţii indiscernabilelor să fie satisfăcute, universul trebuie să evite cumva să sfârşească într-o asemenea stare paradoxală. Aceste principii limitează opţiunile pentru posibila soartă a universului.

Există o mică literatură ştiinţifică ce încearcă să schiţeze ce se va întâmpla în viitorul îndepărtat al universului. Ea este în întregime speculativă, deoarece pentru a raţiona asupra viitorului îndepărtat trebuie făcute câteva presupuneri majore. Una este că legile naturii nu trebuie să se schimbe niciodată, altminteri capacitatea noastră predictivă ar fi blocată. Şi nu trebuie să existe fenomene nedescoperite care ar putea să modifice cursul istoriei universului. De exemplu, ar putea exista o forţă atât de slabă încât nu a fost încă detectată, dar care să acţioneze pe distanţe enorme şi pe durate de timp mult mai lungi decât vârsta actuală a universului. Aceasta e o

posibilitate care a fost avută în vedere. Dar ea împiedică orice predicţie bazată pe cunoaşterea actuală. Nu trebuie să existe nici alte surprize, ca de pildă ziduri de bule cosmice care se îndreaptă spre noi cu viteza luminii de dincolo de orizontul nostru prezent.

Presupunând că legile şi fenomenele bine stabilite sunt tot ce există, putem deduce, fără riscul de a greşi, următoarele:

în cele din urmă galaxiile vor înceta să producă stele. Galaxiile sunt sisteme gigantice pentru transformarea hidrogenului în stele. Ele nu sunt foarte eficiente; o galaxie spirală tipică produce aproximativ o stea pe an. După aproape 14 miliarde de ani, majoritatea universului încă mai constă în hidrogen şi heliu primordial. Dar cantitatea de hidrogen e finită, aşa încât nu poate exista decât un număr finit de stele. Chiar dacă tot hidrogenul este procesat în stele, în cele din urmă se va forma şi ultima stea. Iar aceasta e doar o limită superioară;

cel mai probabil, procesele de neechilibru care dirijează formarea stelelor vor înceta cu mult înainte ca tot hidrogenul să fi fost transformat în stele.

Ultimele stele se vor stinge. Stelele au o durată de viată finită. Cele masive trăiesc câteva milioane de ani şi mor spectaculos ca supernove. Majoritatea trăiesc multe miliarde de ani şi sfârşesc cu un fâsâit ca pitice albe. Va veni o vreme când şi ultima stea va fi pierit.

Şi pe urmă?

După moartea ultimelor stele, universul este plin cu materie, materie întunecată, radiaţie şi energie întunecată. Ce se va întâmpla cu universul pe termen lung depinde în cea mai mare parte de componenta despre care ştim cel mai puţin: energia întunecată.

Energia întunecată este energie asociată cu spaţiul vid. S-a observat că ea formează aproximativ 73% din masa-energie a universului. Natura ei rămâne deocamdată necunoscută, dar efectul ei asupra

mişcării galaxiilor îndepărtate a fost observat. în particular, energia întunecată este invocată pentru a explica recent descoperita accelerare a expansiunii universului.

în afară de asta, nu ştim nimic despre ea. Ar putea fi pur şi simplu o constantă cosmologică, sau ar putea fi o formă exotică de energie cu densitate constantă. Deşi densitatea energiei întunecate pare să fie aproximativ constantă, nu ştim dacă într- adevăr este aşa, sau dacă ea se modifică mai lent decât au detectat observaţiile până în prezent. Viitorul universului va fi foarte diferit după cum densitatea energiei întunecate rămâne constantă sau nu.

Să examinăm mai întâi scenariul în care energia întunecată îşi păstrează densitatea pe măsură ce universul se extinde. Dacă are o densitate constantă, ea se comportă precum constanta cosmologică a lui Einstein. Ea nu scade odată cu expansiunea universului. Tot restul – toată materia şi radiaţia – se

diluează odată cu expansiunea universului, iar densitatea totală de energie provenind de la acele surse scade treptat. După câteva zeci de miliarde de ani, totul este neglijabil, cu excepţia densităţii de energie asociată constantei cosmologice.

Fiind un caz atât de simplu, ştim destul de bine ce se întâmplă. O consecinţă a expansiunii exponenţiale este că roiurile de galaxii se separă atât de repede încât în curând ele nu se mai pot vedea unele pe altele. Fotonii care părăsesc un roi şi se deplasează cu viteza luminii nu se mişcă destul de repede pentru a ajunge din urmă alte roiuri. Observatorii din fiecare roi sunt înconjuraţi de un orizont dincolo de care au dispărut vecinii lor. Fiecare roi este atunci un sistem izolat. Interiorul fiecărui orizont devine un fel de cutie, delimitând un subsistem de restul universului. Prin urmare, metodele fizicii într-o cutie se aplică fiecăruia – ceea ce înseamnă că putem folosi metodele termodinamicii pentru a raţiona asupra lor.

În acest moment al povestirii intervine un nou efect al mecanicii cuantice, făcând ca interiorul fiecărui orizont să se umple cu un gaz de fotoni în echilibru termic – un fel de ceaţă creată de procese analoage acelora care produc radiaţia Hawking a găurilor negre. Ea se numeşte *radiaţia orizontului.* Temperatura sa e extrem de scăzută, la fel şi densitatea, dar ele rămân constante pe măsură ce universul se extinde. între timp, tot restul, inclusiv materia şi fondul cosmic de microunde, devine tot mai diluat, aşa încât după ce a trecut suficient timp radiaţia orizontului umple universul. Universul a ajuns la echilibru.

Această stare de echilibru persistă veşnic. Sfârşitul sub forma unui univers boltzmannian etern este inevitabil. Vor exista, desigur, fluctuaţii şi recurenţe, iar din când în când o configuraţie sau alta a universului va reapărea exact – inclusiv paradoxul creierului Boltzmann pe care l-am prezentat în capitolul 16 ca *reducţia ad*

absurdum final al paradigmei newtoniene. Potrivit acestui scenariu, aparenta complexitate a universului nostru de până acum e doar o clipă infimă înainte ca el să se stabilizeze într-un echilibru etern.

Ştim aproape cu certitudine că nu suntem creiere Boltzmann, căci dacă am fi (aşa cum am menţionat în capitolul 16), probabil că nu am vedea în jurul nostru un univers vast şi ordonat. Faptul că *nu* suntem creiere Boltzmann înseamnă că scenariul acesta pentru viitorul universului nostru e fals. Principiul raţiunii suficiente, acţionând prin înlocuitorul său, principiul identităţii indiscernabilelor, de asemenea impune ca scenariul să fie fals. întrebarea este cum poate fi el evitat.

Pentru ca universul să nu fie mort pe vecie, cel mai simplu ar fi ca densitatea materiei din univers să fie suficientă aşa încât să oprească expansiunea şi să-l facă să colapseze. Materia atrage

gravitaţional materia, ceea ce încetineşte expansiunea, deci dacă există suficientă materie, universul va colapsa într-o singularitate finală. Sau poate că efecte cuantice vor opri colapsul, iar universul va „ricoşa”, transformând contracţia într-o expansiune care să ducă la un nou univers. Se pare însă că nu există destulă materie pentru a inversa expansiunea, şi cu atât mai puţin pentru a contracara efectul accelerator al energiei întunecate.

Următoarea posibilitate simplă de a evita un viitor mort pe vecie ar fi ca acea constantă cosmologică să nu fie de fapt o constantă. Deşi avem dovezi că energia întunecată – care e practic constanta cosmologică – nu se modifică la scara vârstei actuale a universului, nu avem nici o dovadă că ea nu se va modifica pe termen lung. Schimbarea aceasta s-ar putea datora unei legi mai profunde, care acţionează atât de lent încât efectele sale sunt perceptibile numai pe durate de timp lungi. Sau schimbarea ar putea fi efectul

tendinţei generale a legilor de a evolua. într-adevăr, principiul că nu există acţiune fără reacţiune sugerează că constanta cosmologică trebuie să fie influenţată de universul asupra căruia ea acţionează decisiv.

Constanta cosmologică ar putea să scadă la zero. în acest caz, expansiunea încetineşte, dar cel mai probabil nu se inversează. Universul ar putea fi etern, dar static; aceasta, cel puţin, evită paradoxul creierului Boltzmann.

Dacă universul fără constantă cosmologică se extinde veşnic sau colapsează depinde în ultimă instanţă de condiţiile iniţiale. Dacă energia expansiunii e suficientă pentru a învinge până la urmă atracţia gravitaţională reciprocă a tuturor lucrurilor din univers, el nu va colapsa niciodată. Dar chiar dacă universul e etern, există multe şanse pentru renaştere, deoarece fiecare gaură neagră, ca rezultat al eliminării singularităţii ei, poate duce la naşterea unui univers-copil. După cum am menţionat în capitolul

11, există dovezi teoretice că aceasta trebuie să se întâmple.

Dacă aşa stau lucrurile, atunci universul nostru, care e încă departe de a fi mort, a avut deja cel puţin un miliard de miliarde de progenituri. Aceste noi universuri vor da fiecare naştere alor progenituri. Faptul că fiecare univers poate muri la un anumit moment, după ce a zămislit atâtea altele, pare aşadar lipsit de însemnătate.

Există şi posibilităţi de renaştere care implică întregul univers, nu doar găurile sale negre. Aceasta e ipoteza studiată la o clasă de modele cosmologice numite modele ciclice. O specie de modele ciclice, inventate de Paul Steinhardt de la Universitatea Princeton şi Neil Túrok de la Institutul Perimeter, realizează asta presupunând că constanta cosmologică scade la zero, după care se îndreaptă către valori negative mari.[4] Din motive pe care nu le voi explica aici, aceasta provoacă un colaps spectaculos al întregului univers. Ei arată însă că

acest colaps e urmat de un ricoşeu şi o re-expansiune. Ricoşeul se poate datora efectelor gravitaţiei cuantice, sau singularitatea finală ar putea fi evitată prin valoarea extremă a energiei întunecate.

Dovezile teoretice că acele singularităţi finale cosmologice ricoşează datorită efectelor cuantice, ducând la o re-expansiune a universului, sunt şi mai puternice decât în cazul singularităţilor găurilor negre.[5] în cadrul gravitaţiei cuantice cu bucle au fost studiate mai multe modele ale efectelor cuantice din apropierea singularităţilor cosmologice, iar rezultatul este că ricoşeul e un fenomen universal. Se impune însă avertismentul că acestea sunt doar modele, şi deocamdată ele fac presupuneri drastice. Presupunerea-cheie este că universul e omogen spaţial. Lucrul de care suntem cel mai siguri este că regiunile extrem de uniforme ale universului – regiuni fără unde gravitaţionale sau găuri negre – ricoşează pentru a da naştere unor

noi universuri.

în cel mai rău caz, regiunile extrem de neomogene nu vor ricoşa. Ele doar colapsează în singularităţi, unde timpul se opreşte. însă chiar şi acest caz nefavorabil are o parte bună, fiindcă ar oferi un principiu de selecţie pentru a determina care regiuni ale universului ricoşează şi se reproduc. Dacă numai regiunile cele mai omogene ricoşează, atunci începuturile noilor universuri, imediat după ricoşeu, vor fi de asemenea foarte omogene.[6] Aceasta oferă o predicţie: foarte devreme, imediat după ricoşeu, universul e extrem de omogen – nu există găuri negre sau albe, nici unde gravitaţionale, aşa cum vedem în universul nostru.

Dar pentru ca scenariul universului care ricoşează să fie ştiinţă, e nevoie de cel puţin încă o predicţie prin care ipoteza să poată fi testată. Există cel puţin două, legate de spectrul fluctuaţiilor din CMB. Scenariul ciclic oferă o explicaţie pentru acele fluctuaţii, explicaţie care nu necesită scurta

perioadă de inflaţie extremă considerată adesea cauza lor. Spectrul fluctuaţiilor pe care l-am observat până acum este reprodus, dar sunt două deosebiri între predicţiile modelelor ciclice şi cele ale inflaţiei, iar aceste predicţii pot fi testate experimental în prezent sau în viitorul apropiat. Un test este dacă în CMB se vor observa unde gravitaţionale; inflaţia spune că da, iar modelele ciclice spun că nu. Modelele ciclice prezic de asemenea că radiaţia CMB nu e complet aleatorie – în limbaj tehnic, ele prezic non-gaussianitate.—

Modelele ciclice sunt exemple pentru felul în care, considerând că timpul e fundamental – în sensul că nu a început la big bang, ci a existat înaintea acestuia –, suntem conduşi spre o cosmologie mai predictivă. Un alt exemplu este cel al teoriilor în care se presupune că viteza luminii a fost diferită – de fapt, mult mai mare – în universul foarte timpuriu. Aceste aşa-numite *teorii cu viteza luminii variabilă* selectează un concept de timp

privilegiat într-un mod care încalcă principiile teoriei relativităţii. Prin urmare, ele nu se bucură de popularitate, dar promit să explice fluctuaţiile CMB fără a recurge la inflaţie.

Roger Penrose a propus un alt scenariu prin care universul să dea naştere unui nou univers.[7] în linii mari, el acceptă scenariul unui univers boltzmannian etern cu o constantă cosmologică fixă, iar apoi se întreabă ce se întâmplă după trecerea unui timp infinit. (Numai Penrose putea pune o asemenea întrebare.) El arată că după un anumit timp toate particulele elementare cu masă, incluzând protonii, cuarcii şi electronii, se vor dezintegra, şi vor rămâne doar fotonii şi alte particule fără masă. în acest caz, nu va exista nimic care să detecteze trecerea infinită a eternităţii, deoarece fotonii, care se deplasează cu viteza luminii, nu percep deloc timpul. Pentru un foton, eternitatea universului foarte târziu va fi indiscernabilă de universul foarte timpuriu. Singura

deosebire va fi temperatura. Ce-i drept, diferenţa de temperatură este enormă, dar e vorba de o singură scară. Penrose susţine că o singură scară nu contează. într- un gaz de fotoni descrişi relaţional, tot ce contează sunt comparaţiile, sau rapoartele, între lucrurile care există simultan; scara globală nu poate fi detectată. Aşadar, universul târziu, umplut cu un gaz rece de fotoni şi alte particule fără masă, devine indiscernabil de gazul fierbinte, alcătuit din aceleaşi particule, care a umplut universul timpuriu. Potrivit principiului identităţii indiscernabilelor, universul târziu reprezintă de asemenea naşterea unui alt univers.

Scenariul lui Penrose se desfăşoară numai după un timp infinit, aşa încât nu rezolvă paradoxul creierului Boltzmann. Dar el prezice că în rămăşiţele big bang-ului există fosile ale universului trecut, din care am putea obţine informaţii despre acesta. Deşi multă informaţie e distrusă de eternitatea petrecută în

echilibru termic, un purtător de informaţie care nu e niciodată dezorganizat este radiaţia gravitaţională. Informaţia purtată de undele gravitaţionale supravieţuieşte şi ricoşeului din modelele ciclice şi ajunge în noul univers.

Cele mai puternice semnale purtate de undele gravitaţionale sunt imagini ale ciocnirilor dintre marile găuri negre ascunse cândva în centrele galaxiilor de mult dispărute. Acestea se propagă spre exterior, formând mari cercuri pe cer. Ele călătoresc veşnic şi supravieţuiesc tranziţiei către noul univers. în consecinţă, prezice Penrose, aceste cercuri mari ar trebui să fie vizibile în fondul cosmic de microunde, a cărui structură a fost fixată de timpuriu în universul nostru. Ele sunt umbre ale unor evenimente din precedentul univers.

în plus, Penrose prezice că ar trebui să existe o mulţime de cercuri concentrice. Acestea provin din roiurile de galaxii în care, de-a

lungul timpului, au avut loc mai multe ciocniri între găurile negre galactice. Este o predicţie remarcabilă pentru tiparul CMB, foarte diferită de cea a majorităţii scenariilor cosmologice. Dacă ceva atât de improbabil se confirmă, ar trebui considerat drept o dovadă în favoarea scenariului care a produs această predicţie.

La data când scriu nu e clar dacă cercurile concentrice ale lui Penrose pot fi observate în CMB.[8] Indiferent care va fi rezultatul, vedem încă odată că scenariile cosmologice în care universul nostru a evoluat dintr-un univers pre-big bang fac predicţii ce pot fi confirmate sau infirmate prin observaţii, spre deosebire de scenariile în care universul este unul dintr-o pluralitate simultană de lumi – scenarii care nu fac şi, probabil, nici nu pot face predicţii reale.

în capitolul 10 am argumentat că o explicaţie raţională a motivului pentru care anumite legi şi condiţii iniţiale din universul nostru au

necesitat ca selecţia să fi avut loc de mai multe ori[3] este că altminteri nu am putea şti de ce a fost făcută tocmai acea alegere – pe când dacă aceleaşi condiţii iniţiale şi legi au apărut de multe ori, ar putea exista motive pentru asta. Am examinat două moduri în care pot fi aranjate numeroasele big bang-uri – simultan sau consecutiv – şi am arătat că numai în ultimul caz putem spera să elaborăm o cosmologie capabilă să răspundă la întrebarea „De ce legile acestea?”, o cosmologie ştiinţifică în sensul de a furniza predicţii falsificabile. În capitolul de faţă am revenit pentru a compara cele două variante, şi am văzut în detaliu că numai în cazul universurilor consecutive există predicţii reale pentru experimente posibile.

Cosmologia devine aşadar mai ştiinţifică, iar ideile noastre mai vulnerabile la testare, dacă lucrăm într-un cadru în care timpul este real şi fundamental, iar istoria universului e o parte necesară pentru a înţelege starea sa actuală.

Cei împovăraţi de prezumţia metafizică potrivit căreia scopul ştiinţei este să descopere adevăruri eterne reprezentate de obiecte matematice eterne ar putea crede că eliminarea timpului, şi deci asemuirea universului cu un obiect matematic, este calea către o cosmologie ştiinţifică. Dar contrariul se dovedeşte a fi adevărat. Aşa cum Charles Sanders Peirce a înţeles cu mai

J mult de un secol în urmă, *legile trebuie să evolueze pentru a putea fi explicate.*

---

18. Adică radiaţia CMB nu se conformează distibuţiei gaussiene (distribuţia normală – caracteristică pentru procesele aleatorii) (n. red.).

19. Viitorul timpului

în partea a Il-a am revenit din atemporalitate pentru a aşeza timpul în locul său legitim, în centrul perspectivei noastre asupra lumii. Argumentele prezentate în

partea I în favoarea irealităţii timpului păreau solide, dar toate depind de extinderea paradigmei newtoniene la o teorie completă a universului în ansamblul său. După cum am văzut, înseşi trăsăturile care fac din acea paradigmă o metodă de succes pentru a descrie fizica unor mici părţi din univers îi subminează aplicarea la întregul univers. Pentru a continua să progresăm în cosmologie (şi în fizica fundamentală) avem nevoie de un nou concept de lege a naturii, valabil la scară cosmologică, care să evite erorile, dilemele şi paradoxurile şi să răspundă la întrebările pe care vechiul cadru nu le poate aborda. Mai mult, trebuie să fie o teorie ştiinţifică – altfel spus, trebuie să facă predicţii falsificabile pentru experimente noi, dar realizabile.

în capitolul 10, am început căutarea unui asemenea cadru nou enunţând principiile de bază care să ne călăuzească cercetarea. între ele, de maximă importanţă este principiul lui Leibniz al raţiunii

suficiente, care ne obligă să căutăm un motiv raţional pentru orice alegere care a stabilit ca universul să fie într- un fel, şi nu în altul. Acesta implică principii suplimentare: al identităţii indiscernabilelor, al închiderii explicative şi al acţiunii şi reacţiunii. Aceste principii creează cadrul unei abordări relationale a tuturor proprietăţilor lucrurilor din natură.

Am arătat apoi că singura cale de a satisface aceste principii şi a descoperi o teorie cosmologică aplicabilă e să presupunem că legile naturii evoluează în timp. Aceasta impune ca timpul să fie real şi global. Un progres promiţător îl reprezintă dinamica formelor, care, după cum am văzut în capitolul 14, face apel la un timp global privilegiat în cadrul relativităţii generale.

Ideea de timp real, în care legile naturii evoluează, împreună cu principiile noastre, ne oferă baza pentru o nouă teorie cosmologică. Rezultatele prezentate în partea a

Il-a în capitolele 11-18 nu sunt deocamdată stabilite cu certitudine şi nu constituie încă o teorie coerentă. Ele oferă în schimb o perspectivă privind felul în care am putea ajunge la o nouă concepţie atât asupra universului, cât şi asupra sarcinii
cosmologiei. Toate sunt speculative, dar câteva dintre ele fac predicţii testabile autentice pentru experimente realizabile. Indiferent dacă vreuna va fi confirmată experimental sau nu, cel puţin ele demonstrează că ipoteza realităţii timpului conduce la o cosmologie mai ştiinţifică.

Noţiunea de timp real şi global este utilă şi pentru rezolvarea altor probleme nesoluţionate din fizică. De exemplu, trebuie să depăşim nivelul predicţiilor statistice ale mecanicii cuantice pentru a descrie şi explica ce se întâmplă în evenimentele individuale, în capitolele 12 şi 13 am prezentat două abordări noi ale unei teorii mai profunde a fenomenelor cuantice, ambele impunând ca

timpul să fie fundamental. Aceste abordări par să se deosebească de mecanica cuantică în suficientă măsură pentru a putea fi distinse de ea experimental.

Un alt domeniu în care operează timpul real este descrierea comportamentului din lumea macroscopică, unde termodinamica emerge împreună cu concepte precum temperatura, presiunea, densitatea şi entropia. La acest nivel necuantic, timpul pare să aibă un pronunţat caracter direcţional, şi putem discerne mai multe săgeţi ale timpului care disting categoric trecutul de viitor. Intr-o teorie în care timpul e neesenţial sau emergent, această asimetrie temporală a universului este enigmatică. Ea ne obligă să punem cele mai evidente şi vizibile trăsături ale lumii pe seama unei alegeri extrem de improbabile a condiţiilor iniţiale. Dificultatea poate fi evitată presupunând că timpul este real şi că teoria fundamentală e la fel de asimetrică în raport cu timpul pe cât se

dovedeşte a fi universul însuşi.

Totuşi, una este să spui că timpul e real, şi cu totul altceva să afirmi că are sens să vorbim despre ce se întâmplă „chiar acum” pretutindeni în univers – adică simultan cu experienţa noastră a trecerii timpului. Ideea de timp global înseamnă că experienţa noastră a trecerii timpului e împărtăşită pe tot cuprinsul universului, ceea ce, desigur, intră direct în contradicţie cu relativitatea simultaneităţii din relativitatea restrânsă şi generală. Problema contradicţiei trebuie abordată, fiindcă relativitatea simultaneităţii, împreună cu ideea că realitatea e o noţiune împărtăşită, conduce, după cum am văzut în capitolul 6, la imaginea universului-bloc, în care aspectul fundamental al experienţei noastre – trecerea timpului – nu este real.

Am putea încerca să imaginăm un sens în care timpul e real, fără să contrazică relativitatea simultaneităţii – dar asta ar presupune o perspectivă asupra realităţii fie solipsistă, fie

dependentă de observator, în care distincţia dintre prezentul real şi viitorul care va deveni real nu e o proprietate obiectivă împărtăşită de toţi observatorii. Şi, după cum am subliniat, ipoteza timpului global e foarte utilă pentru a depăşi mecanica cuantică şi a înţelege spaţiul ca emergent. Este important să observăm de asemenea că ipoteza timpului global nu contrazice neapărat confirmările experimentale ale relativităţii restrânse, aşa cum am văzut că se întâmplă în dinamica formelor. Până la urmă, ipoteza că în natură există un timp global privilegiat trebuie validată experimental, de aceea am adoptat ipoteze care pot conduce la noi predicţii prin care ele să poată fi verificate.

*

Ideea că legile evoluează promite să crească puterea de predicţie a fizicii fundamentale. Dar ea aduce cu sine o ultimă dilemă. E firesc să ne întrebăm dacă există o lege care guvernează modul cum evoluează

legile. O asemenea lege, care acţionează asupra

legilor, iar nu direct asupra particulelor elementare, poate fi numită *meta-lege.* Acţiunea unei meta-legi ar putea fi dificil de observat, întrucât e posibil ca ea să acţioneze doar în cursul unor episoade violente precum big bang-ul. Dacă însă vrem o explicaţie completă a universului nostru, care să satisfacă pe deplin ambiţia principiului raţiunii suficiente, n-ar trebui oare să existe o asemenea meta-lege?

Dar să presupunem că există o meta-lege. Nu ar trebui atunci să ne întrebăm de ce această meta-lege, şi nu alta, guvernează evoluţia legilor în universul nostru? Iar dacă o meta-lege poate acţiona asupra unor legi din trecut pentru a produce legi în viitor, o parte a explicaţiei pentru legile care sunt în prezent va depinde de legile care au fost în trecut, aşa încât nu putem evita întrebarea „De ce aceste condiţii iniţiale?”. Ipoteza meta-legii poate conduce la o regresie infinită

(la întrebarea „De ce această meta-lege?” s-ar putea răspunde prin meta-meta- legi, şi aşa mai departe). Acesta e un aspect al dilemei. Celălalt e posibilitatea să *nu* existe nici o meta-lege. Evoluţia legilor ar conţine atunci un element aleatoriu, rezultatul fiind din nou că nu totul este explicabil, iar principiul raţiunii suficiente nu e fundamental în ştiinţă. Roberto Mangabeira Unger şi cu mine numim aceasta *dilema meta-legilor.*

La prima vedere ar putea părea o fundătură, dar după câţiva ani de reflecţii am ajuns să cred că, dimpotrivă, este o mare şansă pentru ştiinţă, o provocare de a inventa un nou tip de teorie care s-o rezolve. Sunt convins că dilema meta-legilor poate fi rezolvată şi că modul de a o rezolva va fi cheia descoperirilor ce vor permite progresul cosmologiei şi al fizicii fundamentale în acest secol.

Dilema meta-legilor e temporar ocolită de selecţia naturală cosmologică (vezi capitolul 11) prin ipoteza unei meta-legi limitate şi

statistice. Atunci când am postulat că parametrii Modelului Standard se modifică cu mici cantităţi aleatorii la fiecare ricoşeu, am descris un tip de meta-lege care ocoleşte parţial dilema. Desigur, vrem să ştim mai mult despre felul în care se întâmplă asta şi să putem descrie mecanismul care generează modificările aleatorii ale parametrilor. O cunoaştere mai aprofundată ar putea fi oferită de o teorie cuantică a gravitaţiei, ca de pildă gravitaţia cuantică cu bucle sau teoria corzilor (aceasta din urmă fiind contextul în care ideea a fost concepută iniţial). Dar chiar şi fără alte cunoştinţe, ipoteza selecţiei naturale cosmologice are putere explicativă şi e falsificabilă.

Principiul precedentului este o altă abordare a meta-legilor. Fiind parţial statistic, şi el ocoleşte – sau cel puţin amână – dilema meta-legilor. Chiar şi amânarea unei dileme poate fi profitabilă, făcând loc unor ipoteze ce pot fi investigate experimental şi, la rândul lor, sugerează noi întrebări şi abordări.

Dar pentru a rezolva definitiv dilema meta-legilor, dinamica prin care evoluează legile trebuie să difere suficient de legile familiare nouă, aşa încât întrebările „De ce această meta-lege?” şi „De ce aceste condiţii iniţiale?” să nu apară.

Iată o abordare care rezolvă dilema într-un mod surprinzător: să presupunem că oricare două propuneri pentru o meta-lege sunt echivalente – adică, ele au efecte identice asupra felului în care evoluează legile.[1] Ar putea exista un *principiu al universalităţii meta-legii,* la fel cum există universalitate în calcul. în acel domeniu, „universalitate” înseamnă că orice funcţie care poate fi calculată pe un computer poate fi calculată pe oricare altul, indiferent ce sistem de operare foloseşte. Ideea de universalitate a meta-legilor este analoagă, ea afirmând că nu are nici o importanţă care meta-lege operează, întrucât toate predicţiile experimentale vor fi aceleaşi.

O altă abordare a ştiinţei

cosmologiei care transcende paradigma newtoniană este să ne imaginăm o uniune între lege şi configuraţie. Nu vor exista două lucruri de cunoscut – legea şi starea ci doar unul, care le unifică într-o *meta-configuraţie* ce conţine informaţii despre amândouă. Această idee e în acord cu ipoteza că tot ce este real este real în momentul prezent. Specificarea unei legi şi a unei configuraţii nu pot fi foarte diferite, de aceea le unificăm într-o singură meta-configuraţie. La fel cum Galilei a unificat domeniile ceresc şi pământesc, poate că este momentul să unificăm umbra lor, care este distincţia între legea atemporală şi configuraţia dependentă de timp.

Evoluţia meta-configuraţiei ar fi determinată de o regulă atât de simplă încât este explicată de un principiu al universalităţii. Alegerea configuraţiei iniţiale ar preciza legea iniţială precum şi condiţiile iniţiale. Ar exista aspecte ale configuraţiei care evoluează rapid, iar altele care evoluează mult mai

lent. Primele ar reprezenta configuraţia, care ar evolua prin ceea ce am putea numi legi, specificate de aspectele care se modifică mai lent. Dar pe intervale de timp lungi, distincţia dintre legi şi configuraţii ar dispărea. Am elaborat un model simplu al acestei idei care, deocamdată, nu e prea realist.[2]

Aceste două idei, împreună cu principiul precedentului şi cu selecţia naturală cosmologică, ne oferă deja patru metode de abordare a dilemei meta-legilor. Fără îndoială că sunt doar primii paşi. Nu este o exagerare să spunem că direcţia cosmologiei secolului XXI va fi determinată de modul cum e rezolvată dilema meta-legilor.

*

în capitolul introductiv am formulat câteva întrebări despre rolul jucat de matematică în ştiinţă. înainte să încheiem, vreau să revin pe scurt asupra acestui subiect, deoarece trebuie să fie clar că realitatea

timpului are implicaţii importante asupra rolului matematicii în fizică.

în cadrul paradigmei newtoniene, un spaţiu al configuraţiilor atemporal poate fi descris ca un obiect matematic. Legile pot fi de asemenea reprezentate de obiecte matematice, la fel şi soluţiile lor, care sunt istorii posibile ale sistemului. Matematica nu corespunde proceselor fizice reale, ci doar unor înregistrări ale lor odată ce s-au încheiat – înregistrări care şi ele sunt, prin definiţie, atemporale. Lumea rămâne însă mereu un mănunchi de procese care evoluează în timp, şi doar mici părţi ale ei sunt reprezentabile prin obiecte matematice atemporale.

întrucât paradigma newtoniană nu poate fi extinsă pentru a include tot universul, nu e necesar să existe un obiect matematic care să corespundă istoriei exacte a întregului univers. După cum nu e necesar să existe, pentru tot universul, un spaţiu al configuraţiilor atemporal şi legi atemporale reprezentate ca obiecte

matematice universale atemporale.

John Archibald Wheeler obişnuia să scrie ecuaţii pe tablă, după care făcea un pas înapoi şi spunea: „Iar acum voi bate din palme şi va apărea un univers/' Bineînţeles că nu apărea.[3] în *Scurtă istorie a timpului* Stephen Hawking se întreba: „Ce este ceea ce animă ecuaţiile şi le face să descrie universul?”— Asemenea afirmaţii dezvăluie absurditatea ideii că matematica precedă natura. în realitate, matematica urmează după natură. Ea nu are putere generatoare. Un alt fel de a spune asta e că în matematică concluziile sunt impuse prin implicaţie logică, pe când în natură evenimentele sunt generate de procese cauzale care acţionează în timp. Nu este acelaşi lucru; implicaţiile logice pot conduce la modele pentru unele aspecte ale proceselor cauzale, dar ele nu sunt identice cu procesele cauzale. Logica nu este oglinda cauzalităţii.

Logica şi matematica surprind aspecte ale naturii, dar niciodată

întreaga natură. Există aspecte ale universului real care niciodată nu vor putea fi reprezentate matematic. Unul dintre acestea e faptul că în lumea reală întotdeauna este un anumit moment.

Aşadar unul dintre cele mai importante învăţăminte care rezultă odată ce înţelegem realitatea timpului este că natura nu poate fi captată într-un singur sistem logic sau matematic. Universul doar este – sau, mai bine zis, se petrece. El este unic şi se petrece o singură dată, la fel ca orice eveniment – orice eveniment unic – continui în natură. „De ce există universul, de ce există ceva mai degrabă decât nimic?" probabil că sunt întrebări fără răspuns – dacă nu cumva, pesemne, a exista înseamnă a fi în relaţie cu alte lucruri care există, iar universul e pur şi simplu mulţimea tuturor acelor relaţii. Universul însuşi nu are nici o relaţie cu ceva din afara lui. întrebarea „De ce el există, în loc să nu existe?" depăşeşte domeniul principiului raţiunii suficiente.

în ce formă trebuie exprimate descoperirile cosmologiei, dacă nu într-o singură lege matematică atemporală care acţionează asupra unui spaţiu atemporal al condiţiilor iniţiale? Aceasta e o întrebare de care depinde viitorul cosmologiei. Dacă ne gândim puţin, se conturează unele răspunsuri posibile.

Exemplele pe care le-am dat, cum ar fi selecţia naturală cosmologică şi principiul precedentului, demonstrează că putem concepe teorii ştiinţifice testabile care transcend paradigma newtoniană. Se cuvine să reflectăm asupra faptului că în istoria ştiinţei sunt multe ipoteze care nu au nevoie să fie enunţate matematic. Iar în unele cazuri ,
nu-i nevoie de matematică pentru a deduce consecinţele lor. Un exemplu este teoria selecţiei naturale; unele aspecte ale sale au fost captate în modele matematice simple, dar nu există un singur model care să surprindă toată diversitatea mecanismelor prin care

selecţia naturală acţionează în natură. într-adevăr, oricând pot apărea noi mecanisme de evoluţie, odată ce se nasc specii noi.

Pentru a fi ştiinţifice, ipotezele trebuie să sugereze observaţii prin care să poată fi confirmate sau falsificate. Uneori asta necesită o formulare matematică, alteori nu. Matematica e un limbaj al ştiinţei şi constituie o metodă eficientă şi importantă. Dar aplicarea ei în ştiinţă se bazează pe identificarea rezultatelor calculelor matematice cu rezultatele experimentale, iar întrucât experimentele au loc în afara matematicii, în lumea reală, legătura dintre cele două trebuie exprimată în limbajul obişnuit. Matematica e un instrument remarcabil, dar limbajul fundamental care guvernează ştiinţa este chiar limbajul obişnuit.

*

Provocarea cu care ne confruntăm nu trebuie subestimată. Ştiinţa cosmologică se află în criză, iar singura certitudine este că, dacă

vom continua pe baza metodologiilor care ne-au slujit atât de bine până acum, nu vom ajunge nicăieri. Vedem din paradoxurile care rezultă ce se întâmplă dacă încercăm să folosim paradigma newtoniană standard ca bază pentru cosmologie. Trebuie aşadar să înaintăm în necunoscut. Avem de ales între programe radicale. Care este cel corect putem decide numai după ce vedem care direcţie duce la predicţii testabile pentru noi observaţii, iar observaţiile acelea sunt efectuate. Ne vom aştepta de asemenea ca orice nouă teorie să ofere explicaţii solide pentru fapte cunoscute, dar deocamdată misterioase. Trebuie să încurajăm diverse abordări ale acestor probleme dificile.

Alegerile sunt totuşi fără echivoc. Pentru a compara opţiunile care ne stau în faţă, enumăr în continuare perechi de afirmaţii opuse cu care ne-am întâlnit în cartea aceasta. Ele conturează implicaţiile faptului de a considera că timpul e o iluzie sau e esenţa realităţii.

J î

Timpul este o iluzie. Adevărul şi realitatea sunt atemporale.

Spaţiul şi geometria sunt reale.

Legile naturii sunt atemporale şi inexplicabile, exceptând selecţia prin principiul antropic.

Viitorul este determinat de legile fizicii care acţionează asupra condiţiilor iniţiale ale universului.

Istoria universului este, în toate aspectele sale, identică cu un anumit obiect matematic.

Universul este infinit în spaţiu. Predicţiile probabilistice sunt problematice, fiindcă se reduc la raportul a două mărimi infinite.

Singularitatea iniţială este începutul timpului (atunci când timpul e cumva definit) şi este inexplicabilă.

Universul nostru observabil este unul dintr-o mulţime infinită de universuri J
existente simultan, dar neobservabile.

> Echilibrul este starea naturală şi destinul inevitabil al universului.
>
> Complexitatea şi ordinea care se observă în univers sunt un accident aleatoriu datorat unei fluctuaţii statistice rare.
>
> Mecanica cuantică e teoria finală, iar interpretarea ei corectă este că există o infinitate de istorii alternative reale.

în ştiinţă, nimic nu e sigur. în faţa incertitudinii, ce putem face este să încercăm să construim argumente raţionale pentru diverse ipoteze. Asta am făcut eu aici. Dar, deşi testul suprem este experimentul, putem trage unele concluzii din cât de fertil este un program de cercetare în noi ipoteze şi în predicţii cu ajutorul cărora ele pot fi verificate.

> Timpul este cel mai real aspect al percepţiei noastre asupra lumii. Tot ce e adevărat şi real este astfel într-un moment care e unul dintr-o succesiune de momente.

Spaţiul este emergent şi aproximativ.

Legile naturii evoluează în timp şi pot fi explicate prin istoria lor.

Viitorul nu este în întregime predictibil, şi ca atare e parţial deschis.

Multe regularităţi din natură pot fi modelate prin teorii matematice. Dar nu orice proprietate a naturii se reflectă în matematică.

Universul este infinit în spaţiu. Probabilităţile sunt frecvente relative obişnuite.

Big bang-ul este de fapt un ricoşeu [bounce] care trebuie explicat prin istoria anterioară a universului.

Universul nostru este un stadiu într-o succesiune de ere ale universului. Fosile sau rămăşiţe ale erelor precedente pot fi observate în datele cosmologice.

Numai mici subsisteme ale

universului nostru ajung la echilibru uniform; sistemele legate gravitaţional evoluează către configuraţii structurate eterogene.

Universul se auto-organizează în mod natural către niveluri de complexitate tot mai mari, sub acţiunea gravitaţiei.

Mecanica cuantică este o aproximaţie a unei teorii cosmologice necunoscute.

Programul de cercetare bazat pe universul atemporal care adoptă mecanica cuantică şi multiversul ca teorie finală e în desfăşurare de mai bine de două decenii. El nu a produs încă nici măcar o singură predicţie falsificabilă pentru un experiment realizabil în prezent. în cel mai bun caz, a produs speculaţii privind un fenomen nou, ciocnirea universurilor-bule, ale căror rămăşiţe ar putea fi observate dacă avem noroc. Aceste speculaţii nu sunt însă predicţii falsificabile, pentru că infirmarea lor poate fi

explicată cu uşurinţă fără ca speculaţia să aibă de suferit.

Nici dificultăţile esenţiale cu care se confruntă acest program nu au fost rezolvate, în pofida multor ani de muncă a unor oameni de ştiinţă inteligenţi şi perseverenţi. Aceste dificultăţi se leagă de obţinerea unor predicţii în condiţiile în care universul e unul dintr-o mulţime infinită de universuri, toate cu excepţia unuia singur fiind neobservabile; de definiţia probabilităţilor atunci când există un număr infinit de copii ale fiecărui eveniment; şi de faptul fundamental că nici teoria, nici observaţia nu constrâng prea mult inventarea unor scenarii despre lucruri ce pot fi adevărate, dar inaccesibile observaţiilor noastre.

E imposibil să fim siguri că nimic important nu va rezulta din investigarea acestor idei, dar pare probabil că istoria le va considera eşecuri – eşecuri provocate de o abordare greşită a unei probleme fundamentale în ştiinţă. Eşecul

rezultă din aplicarea la tot ce există a unei metode adecvate pentru studierea unor mici părţi ale universului.

Dacă l-am caracterizat corect, eşecul nu e superficial şi nu poate fi remediat inventând pur şi simplu un alt scenariu de acelaşi tip. La întrebările cosmologice „De ce aceste legi?” şi „De ce aceste condiţii iniţiale?” nu se poate răspunde folosind o metodă pentru care legile şi condiţiile iniţiale sunt date de intrare. Remediul trebuie să fie radical, implicând nu doar inventarea unei teorii noi, ci şi a unei metode noi, şi deci a unui tip nou de teorie.

Deşi sarcina e extrem de dificilă, avem câteva atuuri de partea noastră. Primele încercări, foarte probabil rudimentare, de a formula ipoteze asupra evoluţiei legilor – ipoteze care implică o posibilă istorie a universului înainte de big bang – au dus la predicţii falsificabile pentru observaţii realizabile. Acestea includ predicţiile selecţiei naturale

cosmologice şi predicţiile cosmologiilor ciclice. Este prea devreme să spunem dacă vreuna dintre aceste idei e adevărată, dar e încurajator să ştim că observaţii actuale şi din viitorul apropiat ar putea duce la infirmarea lor. Aceste exemple simple sugerează că scenariile în care universul e o etapă într-o succesiune de universuri sunt testabile, deci ştiinţifice.

Celălalt atu în favoarea noastră este înţelepciunea celor mai profunzi gânditori cosmologici din istorie, în special Leibniz, Mach şi Einstein. De la ei avem câteva principii care ne-au servit până acum ca excelente călăuze în dezvoltarea fizicii.

Cea mai radicală sugestie care decurge din această direcţie de gândire este insistenţa asupra realităţii momentului prezent şi, dincolo de asta, principiul că tot ce este real e astfel într-un moment prezent. în măsura în care aceasta e o idee rodnică, fizica nu mai poate fi înţeleasă drept căutarea unei

dubluri matematice riguros identice a universului. Acel vis trebuie considerat acum o fantezie metafizică ce a putut să inspire generaţii de teoreticieni, dar acum blochează calea către progrese ulterioare. Matematica va fi în continuare slujitoarea ştiinţei, dar ea nu mai poate fi Regina.

Recompensa pentru sacrificarea unei regine e o perspectivă mai democratică asupra inventarului teoriilor fizice. La fel cum s-a renunţat de mult la distincţia dintre regalitate şi oamenii de rând, trebuie să respingem şi să depăşim o distincţie absolută între stările de lucruri în lume şi legile prin care ele evoluează în timp. Nu se mai poate considera că legi eterne, absolute, dictează evoluţia configuraţiei dependente de timp a lumii. Dacă tot ce este real e real într-un moment, atunci distincţia dintre legi şi stări trebuie să fie una relativă, care apare şi este discernabilă în ere cosmologice relativ reci şi calme precum a noastră. Dar în alte epoci, mai violente, distincţia

trebuie să se dizolve într-o descriere nouă, complet dinamică a lumii, care e raţională şi corespunde principiului raţiunii suficiente.

Permiţând legilor să evolueze în timp, ne sporim şansele de a le explica prin ipoteze care au consecinţe testabile. A accepta ca legile să evolueze în timp pare să le diminueze puterea, dar în realitate creşte astfel puterea globală a ştiinţei, pe când extinderea ideilor care funcţionează în paradigma newtoniană asupra domeniului cosmologiei diminuează puterea ştiinţei. Dacă în perspectiva noastră asupra naturii includem evoluţia şi timpul la nivelurile cele mai profunde, avem mai multe şanse să înţelegem universul misterios în care ne aflăm.

Va avea succes această nouă cale? Numai timpul ne-o va spune.

---

19. Stephen Hawking, *Scurtă istorie a timpului,* trad. de Michaela Ciodaru, Humanitás, Bucureşti 1994 (n. tr.).

EPILOG
Gândind în timp

Toate progresele civilizaţiei umane, de la inventarea primelor unelte la tehnologiile noastre cuantice incipiente, sunt rezultatul aplicării disciplinate a imaginaţiei. Imaginaţia e organul care ne permite să prosperăm la cumpăna dintre primejdie şi şansă; este o adaptare la realitatea timpului. Suntem excelenţi vânători sau culegători, şi putem procesa informaţia, dar suntem mult mai mult decât atât: avem capacitatea să imaginăm situaţii care nu rezultă din datele de care dispunem. Imaginaţia ne permite să anticipăm pericole înainte ca ele să fie iminente, ceea ce înseamnă că ne putem pregăti să le întâmpinăm. Suntem o pradă uşoară pentru un tigru noaptea, şi odată ce sa năpustit asupra copiilor noştri nu-l putem împiedica să-i mănânce. Dar

fiindcă ne-am imaginat lucrul acesta, aprindem un foc care- 1 tine la distantă.

[5] [3] A şti că putem aprinde un foc pentru a ţine tigrii la distanţă poate că nu pare ceva impresionant, dar gândiţi-vă la persoana care a făcut asta pentru prima oară în urmă cu câteva sute de mii de ani. Pe atunci trebuie să fi părut o nebunie să foloseşti un pericol de moarte pentru a te feri de altul. Simpla idee că focul poate fi controlat trebuie să fi necesitat o imaginaţie şi un curaj formidabile. în lumea modernă, focul este ascuns pretutindeni în locuinţele noastre, în firele din pereţi, în sobă, în cazanul de încălzire din subsol. Nici măcar nu ne gândim la el – cel puţin până când suntem în maşină mergând undeva şi ne întrebăm dacă am oprit cuptorul. Dar dacă nu am fi descendenţii oamenilor care, cu sute de mii de ani în urmă, au imaginat metode de a stăpâni focul, am fi în continuare o pradă.

Acesta e marele câştig al vieţii omeneşti: a prospera la limita

incertitudinii. Prosperăm la graniţa dintre şansă şi primejdie, şi trăim ştiind că nu putem avea totul sub control sau împiedica lucruri rele să se întâmple din când în când.

Celelalte animale au evoluat pentru a fi în sincronism cu mediile lor. Pentru ele, surpriza e aproape întotdeauna o veste rea, fiindcă semnalează o schimbare a mediului care le expune unui pericol pentru care nu sunt adaptate. într-un anumit moment al evoluţiei noastre, strămoşii noştri au dezvoltat organul imaginaţiei, care ne permite să ne adaptăm unor medii noi. Imaginaţia ne-a permis să transformăm schimbarea şi surpriza în ocazii de a ne extinde domeniul asupra întregii planete.

Cu vreo 12.000 de ani în urmă, ne-am adaptat mediile la noi înşine, devenind agricultori în loc de vânători-culegători oportunişti. De atunci, urmele paşilor noştri s-au extins până într-acolo încât exploatarea sistemelor naturale ale Pământului ameninţă să ne facă mult rău. Deoarece imaginaţia e

jocul nostru, şi ea ne-a adus aici, numai imaginaţia poate să ofere noile idei cu care să depăşim în siguranţă surprizele ce vor veni.

Aceeaşi imaginaţie care a fost motorul adaptării noastre a dus la aspectul esenţialmente tragic al vieţii umane, anume că ne putem imagina propria noastră moarte inevitabilă. Voind, tânjind să supravieţuim cât mai mult timp posibil, încercăm să amânăm inevitabilul, şi fiindcă suntem oameni întrecem măsura, şi nu doar cu puţin. Un rezultat este înflorirea civilizaţiilor, a ştiinţei, a artelor, minunatele tehnologii pe care le considerăm aproape de la sine înţelese. Un altul sunt toate deşeurile pe care le produc exagerările noastre, fiindcă cea mai sigură protecţie împotriva declinului exponenţial e creşterea exponenţială. în felul acesta o specie care a evoluat pentru a umple o nişă relativ îngustă şi rară a cucerit întreaga suprafaţă a planetei. Rudele noastre cele mai apropiate sunt specii în pericol de

dispariţie care mai trăiesc în câteva păduri din Africa, pe când noi suntem miliarde. Speciaţia care ne-a despărţit de celelalte primate este adesea pusă pe seama „culturii”, dar acesta nu este doar un alt cuvânt pentru permanenta noastră concepere şi căutare a unor moduri de viaţă mai bune?

Ne putem închipui fiinţe care nu pretind mult, care iau doar minimumul necesar din mediile şi societăţile lor, care trăiesc în mod instinctiv în echilibru cu lumea lor. Unii dintre noi doresc să devină astfel, şi a duce o viaţă mai simplă este într-adevăr un sfat bun, dar la modul general nu aceasta este firea omului. Ne stă în fire să aspirăm întotdeauna la mai mult şi la altceva decât avem. A fi om înseamnă să-ţi imaginezi ceea ce nu este, să cauţi dincolo de limite, să testezi constrângerile, să explorezi, să te năpusteşti şi să te rostogoleşti peste graniţele intimidante ale lumii pe care o cunoaştem.

Există o idee romantică potrivit căreia depăşirea limitelor şi traiul în

dezechilibru cu mediul sunt o patologie a capitalismului şi a societăţii tehnologice moderne. Dar nu-i deloc aşa. Când am cucerit America de Nord în Epoca de Piatră, ne-am revărsat peste continent nimicind în drumul nostru majoritatea mamiferelor mari. Proporţia vânătorilor-culegători care au murit în războaie tribale a fost mult mai mare decât proporţia europenilor masacraţi în cele două războaie mondiale din secolul XX.

Ca specie, se pare că suntem la apogeul dominaţiei noastre asupra ecosistemelor şi a resurselor planetei. Ştim cu toţii că situaţia actuală e nesustenabilă. Nesustenabilitatea era inevitabilă; ea este întotdeauna rezultatul creşterii exponenţiale. Avem şansa să trăim în perioada apogeului, dar şi a crizei care va urma dacă nu învăţăm rapid să acţionăm mai înţelept decât în trecut. Dacă vom continua să gândim în afara timpului, nu vom depăşi problemele fără precedent ridicate de schimbarea climei. Nu ne putem

baza pe lista standard a soluţiilor politice, fiindcă acele probleme sunt definite de eşecul actualelor noastre sisteme politice. Doar gândind în timp avem şansa să prosperăm vreme de secole de acum înainte.

A existat cineva care pentru prima oară a avut curajul să stăpânească focul, punându-şi astfel copiii în siguranţă. Cine va avea curajul să înţeleagă că siguranţa copiilor noştri poate depinde de capacitatea noastră de a învăţa să controlăm clima?

*

Să ne închipuim că ne aflăm în anul 2080 şi că problemele puse de schimbarea climei au fost abordate şi ameliorate. Copiii noştri vor fi vârstnici – sau poate, datorită progreselor medicale, încă în floarea vârstei. Cum se va fi schimbat modul lor de a gândi ca urmare a evitării catastrofei?

E mai uşor de imaginat care va fi perspectiva lor dacă nu facem nimic pentru a aduce sub control emisiile de dioxid de carbon. Confruntaţi cu

creşterea temperaturii şi a nivelului mării, cu seceta şi distrugerea recoltelor, în timp ce oraşele din nord se aglomerează cu refugiaţi, vă puteţi lesne închipui ce vor dori ei să ne spună.

Dar să presupunem că am găsit înţelepciunea pentru a evita toate acestea. Ce vom fi învăţat pe drumul care a făcut posibil succesul? Şi ce lucruri pozitive (şi nu doar evitarea dezastrului) va fi dobândit societatea prin rezolvarea crizei? Literatura despre schimbarea climei este formulată de regulă la modul negativ. Citim iar şi iar despre consecinţele teribile ale inacţiunii, dar nicăieri nu găsim o discuţie despre beneficiile subsidiare care decurg din rezolvarea problemei. Oamenii care sunt activi fizic şi se alimentează corect vor găsi efecte pozitive în a fi sănătoşi dincolo de evitarea bolii şi a morţii timpurii. Viaţa într-o economie care susţine o planetă sănătoasă ar putea oferi beneficii pozitive asemănătoare?

Consecinţele depăşirii crizei

climatice sunt greu de prevăzut, deoarece reuşita presupune mai mult decât rezolvarea unei probleme de inginerie globală. Chiar şi printre aceia care recunosc gravitatea crizei aderenţa la unul sau altul din două puncte de vedere opuse, ambele false, întârzie progresul real. Pentru cei care văd lumea în termeni economici, natura este o resursă ce trebuie exploatată şi depăşită – iar schimbarea climei e doar o problemă agricolă la o scară mai mare, ce trebuie gestionată printr-o analiză costuri-beneficii. Pentru activiştii de mediu, natura este supremă şi imaculată, iar expansiunea civilizaţiei nu poate decât s-o diminueze; pentru ei, schimbarea climei este doar una dintre problemele de conservare. Ambele viziuni omit esenţialul, fiindcă ambele presupun că natura şi tehnologia sunt
categorii care se exclud reciproc, aşa încât, dacă intră în conflict, trebuie făcută o alegere între ele. Dar o soluţie adecvată a crizei necesită estomparea distincţiei

dintre natural şi artificial. Ea nu presupune o alegere între natură şi tehnologie, ci reorientarea relaţiei dintre ele.

Consensul ştiinţific copleşitor ne spune că acum noi suntem cei care destabilizează clima, dar adevărul este că şi în trecut clima a fluctuat brusc între stări foarte diferite. Dacă acest lucru se întâmplă din nou – indiferent dacă e declanşat de acţiunile noastre sau nu – consecinţele pentru noi vor fi teribile. Fiindcă suntem capabili să preîntâmpinăm sau să moderăm schimbări majore ale climei, trebuie s-o facem – din acelaşi motiv pentru care trebuie să ţinem sub observaţie şi să distrugem asteroizii care s-ar putea ciocni cu Pământul. După rezolvarea acestei urgenţe, vom fi angajaţi într-o permanentă reglare a climei, pentru a o menţine în limite în care omenirea poate să prospere. Asta înseamnă să ne armonizăm tehnologiile cu ciclurile şi sistemele naturale care deja reglează clima.

Când vom înţelege modul cum

sistemele naturale care reglează clima reacţionează la tehnologiile noastre, şi vom începe să administrăm tehnologiile şi economiile noastre aşa încât să funcţioneze în armonie cu clima, vom depăşi sciziunea dintre natural şi artificial la scară planetară. Economia şi clima vor fi aspecte ale unui singur sistem. Pentru a supravieţui crizei climatice, trebuie să concepem şi să punem în aplicare un nou tip de sistem, o simbioză între procesele naturale care determină clima şi civilizaţia noastră tehnologică.

Suntem deprinşi să considerăm că suntem separaţi de natură şi că ne impunem tehnologiile asupra lumii naturale. Dar indiferent dacă fabulăm despre cucerirea naturii sau despre natura care ne va supravieţui, am atins limitele utilităţii ideii că suntem rupţi de natură. Dacă vrem să supravieţuim ca specie, trebuie să ne percepem într-un mod nou, în care noi şi tot ce creăm şi înfăptuim să fie la fel de natural ca ciclurile carbonului şi

oxigenului din care am apărut şi la care participăm cu fiecare respiraţie.

Pentru a porni pe această cale, trebuie să înţelegem rădăcinile distincţiei dintre artificial şi natural. Ele sunt în strânsă legătură cu *timpul.* Ideea falsă la care trebuie să renunţăm este că lucrurile dependente de timp sunt o iluzie, pe când atemporalul este reaL

Primele expresii ale acestei filozofii perene se găsesc în interpretările creştine ale cosmologiei aristotelice şi ptolemaice, în care, aşa cum am arătat în capitolul 1, sfera terestră este unicul lăcaş al vieţii, dar şi al morţii şi descompunerii, înconjurat de sfere cristaline perfecte şi imuabile care se rotesc veşnic în jurul Pământului, purtând Luna, Soarele şi planetele. Stelele sunt fixate de sfera cea mai îndepărtată, deasupra căreia sălăşluiesc Dumnezeu şi cu îngerii lui. Din acest scenariu decurge ideea predominantă că binele şi adevărul se află deasupra noastră, iar răul şi

falsitatea dedesubt. Pentru a învăţa să convieţuim cu planeta noastră, trebuie să ne debarasăm de vestigiile acestei vechi năzuinţe de a ne ridica mai presus decât ea.

Aceeaşi ierarhie se aplică distincţiei natural/artificial, deşi oameni diferiţi o văd în mod diferit. Unii preţuiesc lumea artificială mai mult decât pe cea naturală a fiinţelor vii, deoarece – fiind produsul minţii, iar nu al unei evoluţii indiferente, haotice – este mai aproape de perfecţiunea absolută, şi deci de atemporalitate. Alţii consideră că naturalul are o puritate care lipseşte construcţiilor artificiale.

Cum ne putem debarasa de structura conceptuală a unei lumi divizate şi ierarhice care separă naturalul de artificial? Pentru a scăpa din această capcană conceptuală, trebuie să eliminăm ideea că ceva este, sau poate fi, atemporal. Trebuie să considerăm că totul în natură, inclusiv noi înşine şi tehnologiile noastre, e dependent de timp şi face parte dintr-un sistem

mai vast, în permanentă evoluţie. O lume fără timp este o lume cu un set fix de posibilităţi ce nu pot fi depăşite. Pe de altă parte, dacă timpul este real şi totul i se supune, atunci nu există nici un set fix de posibilităţi şi nici un obstacol în calea inventării unor idei şi soluţii cu adevărat noi ale problemelor. Aşadar, pentru a depăşi distincţia dintre natural şi artificial şi a crea sisteme care să fie deopotrivă naturale şi artificiale, trebuie să ne situăm noi înşine în timp.

Avem nevoie de o nouă filozofie, care să anticipeze contopirea naturalului cu artificialul prin realizarea unei convergenţe între ştiinţele naturale şi sociale, şi în care agentul uman are un loc legitim în natură. Asta nu înseamnă relativism, în care tot ce vrem noi să fie adevărat poate fi. Pentru a supravieţui pericolului schimbării climei, contează foarte mult ce este adevărat. Trebuie de asemenea să respingem atât ideea modernistă că adevărul şi frumuseţea sunt determinate de criterii formale, cât

şi rebeliunea postmodernă faţă de aceasta, conform căreia realitatea şi etica sunt doar constructe sociale. E nevoie de relaţionism, conform căruia viitorul e restricţionat, dar nu complet determinat de prezent, astfel încât noutatea şi invenţia sunt posibile. Aceasta va înlocui falsa speranţă a transcenderii către o perfecţiune absolută, eternă, cu o viziune autentic încurajatoare a unui domeniu în permanentă expansiune pentru activitatea umană, într-un cosmos cu un viitor deschis.

O parte a programului noii filozofii e să salveze cosmologia de o deviere neştiinţifică prin recunoaşterea rolului central pe care îl joacă timpul la scară cosmologică. Acea sarcină ştiinţifică a fost subiectul cărţii de faţă. Dar, la fel de important, o civilizaţie ai cărei oameni de ştiinţă şi filozofi susţin că timpul e o iluzie şi că viitorul e fixat, este improbabil să poată căpăta puterea imaginativă de a crea comuniunea între organizaţiile politice, tehnologie şi

procesele
naturale – o comuniune esenţială dacă vrem
>
să prosperăm într-un mod sustenabil dincolo de secolul acesta.

*

Concepţia metafizică potrivit căreia realitatea e atemporală a săvârşit pesemne răul cel mai mare influenţând economia.[1] Principala eroare în gândirea multor economişti este că piaţa reprezintă un sistem cu o singură stare de echilibru. Aceasta e o stare în care preţurile s-au ajustat aşa încât oferta pentru fiecare marfă corespunde exact cererii pentru ea, în acord cu legea cererii şi a ofertei. Mai mult, o asemenea stare se spune că optimizează satisfacţia tuturor. Există chiar şi o teoremă matematică ce susţine că la echilibru nimeni nu poate deveni mai fericit fără a face pe altcineva mai puţin fericit.[2]

Dacă fiecare piaţă are un asemenea punct de echilibru, şi numai unul, atunci e înţelept şi etic

s-o lăsăm să evolueze de la sine pentru a se stabiliza în acel punct. Forţele pieţei (adică felul în care producătorii şi consumatorii reacţionează la modificările preţurilor) trebuie să fie de ajuns pentru a face asta. O versiune recentă a acestei idei este *ipoteza pieţei eficiente [efficient-market hypothesis],* care susţine că preţurile reflectă toate informaţiile relevante pentru piaţă. Intro piaţă cu mulţi jucători care contribuie cu cunoştinţele şi concepţiile lor prin intermediul ofertelor şi al cererilor, este imposibil ca un bun să fie greşit preţuit multă vreme. în mod remarcabil, această linie de raţionament e susţinută de modele matematice elegante în care se poate demonstra formal că întotdeauna există puncte de echilibru; altfel spus, întotdeauna preţurile pot fi alese aşa încât oferta să corespundă exact cererii.

Această imagine simplă, în care piaţa acţionează întotdeauna pentru a restabili condiţiile de echilibru, depinde de presupunerea că există

un singur echilibru. Dar nu e cazul. Economiştii ştiu încă din anii 1970 că modelele lor matematice ale pieţelor au de regulă multe puncte de echilibru în care oferta corespunde exact cererii. Cât de multe? Numărul e greu de estimat, dar cu siguranţă creşte cel puţin proporţional cu numărul companiilor şi al consumatorilor, dacă nu mai rapid. într-o economie modernă complexă, cu multe bunuri produse de multe firme şi cumpărate de mulţi consumatori, sunt numeroase moduri de a stabili preţurile bunurilor aşa încât oferta şi cererea să fie în echilibru.[3]

Deoarece există multe puncte de echilibru în care forţele pieţei se compensează, nu toate pot fi complet stabile. Se pune atunci întrebarea cum alege o societate în care echilibru să se situeze. Alegerea nu poate fi explicată exclusiv prin forţele pieţei, fiindcă oferta şi cererea se compensează în fiecare dintre numeroasele echilibre posibile. Reglementările, legile, cultura, etica şi politica joacă atunci

un rol necesar în determinarea evoluţiei unei economii de piaţă.

Cum e posibil ca economişti influenţi să fi argumentat timp de decenii pornind de la premisa unui unic echilibru, când rezultate publicate în literatura lor de specialitate de către colegi proeminenţi au demonstrat că acest lucru e incorect? Eu cred că motivul este preferinţa pentru atemporal în detrimentul a ceea ce depinde de timp. Căci dacă există un singur echilibru stabil, dinamica prin care piaţa evoluează în timp nu prezintă mare interes. Indiferent ce se întâmplă, piaţa va găsi starea de echilibru, iar dacă e perturbată, ea va oscila în jurul acelui echilibru şi se va restabili în el. Nu e nevoie să ştii nimic altceva.

Dacă există un unic echilibru stabil, activitatea umană nu are multă libertate de acţiune (exceptând maximizarea profiturilor fiecărei firme şi a satisfacţiei fiecărui cumpărător), iar cel mai bun lucru de făcut e să

lăsăm piaţa să ajungă singură la acel echilibru. Dar dacă sunt multe echilibre posibile, şi nici unul nu e complet stabil, atunci acţiunea umană trebuie să intervină şi să dirijeze dinamica prin care e ales un echilibru din multe posibilităţi. În gândirea mentorilor economici care au înclinat balanţa în favoarea liberalizării pieţei, rolul factorului uman a fost neglijat din cauza respectului deosebit faţă de o imaginară stare mitică atemporală a naturii. Aceasta a fost greşeala conceptuală profundă care a deschis calea erorilor politice care au dus la recenta criză şi recesiune economică.

Despre această greşeală se poate vorbi şi în termenii dependenţei şi independenţei de drum. Un sistem este *dependent* de drum dacă contează felul în care a evoluat de la o configuraţie la alta – altfel spus, condiţiile noastre actuale depind nu doar de unde ne aflăm, ci şi de felul cum am ajuns aici. Un sistem este *independent* de drum dacă totul depinde numai de configuraţia sa

actuală, şi nimic nu depinde de felul cum a ajuns aici, într-un sistem independent de drum, timpul şi dinamica joacă un rol minor, pentru că în orice moment sistemul fie se află în starea sa unică de echilibru stabil, fie fluctuează uşor în jurul acesteia. Intr-un sistem dependent de drum, timpul joacă un rol important.

Doctrinele economice neoclasice consideră economia independentă de drum. O piaţă eficientă este independentă de drum, la fel şi o piaţă cu o singură stare de echilibru stabil. într-un sistem independent de drum, nu ar trebui să poţi face bani doar pe cale mercantilă, fără să produci nimic de valoare. Genul acesta de activitate se numeşte arbitraj, iar teoria financiară fundamentală afirmă că într-o piaţă eficientă arbitrajul este imposibil, fiindcă totul are deja un preţ, aşa încât nu există incoerenţe. Nu poţi schimba dolari pe yeni, aceştia pe euro, iar euro înapoi pe dolari, şi să faci profit. Totuşi, fonduri speculative şi bănci de investiţii au

făcut averi din tranzacţii pe pieţele valutare. Succesul lor ar trebui să fie imposibil într-o piaţă eficientă, dar asta nu pare să-i fi deranjat pe teoreticienii economici.

Cu decenii în urmă, economistul Brian Arthur, pe atunci cel mai tânăr titular al unei catedre la Universitatea Stanford, a început să argumenteze că economia este dependentă de drum.[4] Dovada sa în acest sens era că dictonul economic cunoscut ca *legea descreşterii beneficiilor* nu este întotdeauna corect. Potrivit acestei legi, cu cât produci mai mult din ceva, cu atât profitul din vânzarea fiecărui articol în parte va fi mai mic. Aceasta nu este neapărat adevărat, de exemplu, în afacerea cu programe de calculator, unde nu costă aproape nimic să faci şi să distribui copii suplimentare ale unui program, astfel încât totul e plătit de la început. Lucrarea lui Arthur a fost considerată o erezie – şi, într-adevăr, fără ipoteza descreşterii beneficiilor, unele demonstraţii matematice din modelele

*

economice neoclasice nu mai sunt valabile.

La jumătatea anilor 1990, Pia Malaney, doctorandă în economie la Harvard, şi matematicianul Eric Weinstein au descoperit o reprezentare matematică a dependenţei de drum a economiei. în geometrie şi fizică, pentru studiul sistemelor dependente de drum se foloseşte metoda *câmpurilor de etalonare,* care oferă bazele matematice necesare pentru a înţelege toate forţele din natură. Malaney şi Weinstein au aplicat această metodă în economie şi au constatat că ea e dependentă de drum. într-adevăr, există o mărime uşor de calculat numită *curbură* care măsoară dependenţa de drum, iar ei au găsit că aceasta nu e zero în modelele tipice de pieţe în care preţurile şi preferinţele consumatorilor se schimbă. Prin urmare, la fel ca Pământul şi ca geometria spaţiului-timp, spaţiile matematice care modelează pieţele sunt curbate. în teza ei de doctorat, Malaney a aplicat modelul lor la

creşterile din Indicele Preţurilor de Consum— *[Consumer Price Index]* şi a constatat că ele fuseseră greşit calculate de economiştii care nu au ţinut seama de dependenţa de drum în modelele lor economice.[5]

Lucrarea lui Malaney şi Weinstein a fost ignorată de economiştii academici, dar dependenţa de drum a pieţelor a fost de atunci redescoperită de câţiva fizicieni care au considerat firesc să le aplice teorii de etalonare.[6] E imposibil de ştiut câte fonduri speculative câştigă bani descoperind prilejuri de arbitraj prin măsurarea curburii – adică a unei dependenţe de drum care n-ar trebui să existe în economia neoclasică –, dar fără îndoială că acest lucru se întâmplă.

într-o piaţă dependentă de drum timpul contează cu adevărat. Cum explică teoria economică neoclasică faptul că în realitate pieţele evoluează în timp, ca răspuns la schimbarea tehnologiilor şi a preferinţelor, creând în permanenţă prilejuri de a face bani care n-ar

trebui să existe în modelele lor?

Economia neoclasică tratează timpul făcând abstracţie de el. Într-un model neoclasic, tu ca în calitate de consumator eşti modelat de o funcţie de utilitate. Aceasta e o funcţie matematică ce atribuie un număr fiecărei combinaţii posibile de bunuri şi servicii care ar putea fi achiziţionate în economia în care trăieşti. Este o mulţime enormă, dar asta este matematica, aşa încât să continuăm. Ideea este că, cu cât un set de bunuri şi servicii îţi e mai util, cu atât mai multe vei vrea să cumperi. Modelele presupun atunci că vei cumpăra setul de bunuri şi servicii care îţi maximizează dorinţele, aşa cum sunt ele măsurate de funcţia ta de utilitate, cu restricţia impusă de cât îţi poţi permite.

Cum rămâne cu timpul? Ideea este că lista de bunuri şi servicii include toate bunurile şi serviciile pe care ai vrea să le cumperi în decursul întregii tale vieţi. Prin urmare, restricţia bugetară impusă se referă la venitul pe întreaga viaţă

– ceea ce este, evident, absurd; cum ar putea oamenii să ştie ce vor vrea ori de ce vor avea nevoie peste decenii, sau care va fi venitul lor pe întreaga viaţă? Modelele tratează asemenea contingenţe – faptul că de-a lungul vieţii un om se confruntă cu nenumărate situaţii imprevizibile, introducându-le de-a valma în lista de bunuri şi servicii. Adică, ele presupun că există un preţ definit pentru fiecare ansamblu posibil de bunuri şi servicii oricând şi în orice situaţie ar putea să apară, chiar şi decenii mai târziu. Există un preţ, de pildă, nu doar pentru un Ford Mustang, dar şi pentru un Ford Mustang în 2030, în orice eventualitate posibilă. Modelele presupun nu doar că toate bunurile şi serviciile pe care le- am putea cumpăra acum sunt perfect evaluate la echilibru, dar şi că orice viitor preţ al oricărui ansamblu de bunuri şi servicii în orice situaţie posibilă este de asemenea perfect evaluat. Mai mult, ele presupun că există atât de mulţi investitori, cu o asemenea diversitate de

perspective, încât mizele acoperă întregul spaţiu al situaţiilor şi poziţiilor posibile – în vreme ce studii ale pieţelor reale au arătat că un număr mic de poziţii sunt ocupate de majoritatea comerciantilor.[7]

Faptul că modelele economice neoclasice depun asemenea eforturi absurde pentru a elimina timpul şi contingentul arată doar cât de importantă e problema timpului. Există o atracţie puternică, deşi nerecunoscută, către teorii în care timpul nu joacă nici un rol – poate fiindcă acestea le dau teoreticienilor sentimentul că trăiesc pe un tărâm etern al adevărului pur, în faţa căruia timpul şi contingenţa lumii reale pălesc.

Trăim într-o lume în care e imposibil să anticipezi majoritatea contingenţelor ce vor apărea. Nici contextul politic, nici invenţiile, nici moda, nici vremea, nici clima nu pot fi determinate cu precizie dinainte. în lumea reală nu poţi lucra cu un spaţiu abstract al tuturor contingenţelor ce ar putea să

evolueze. Pentru a studia cu adevărat economia, fără elemente mitologice, avem nevoie de un cadru teoretic în care timpul să fie real, iar viitorul să nu poată fi determinat dinainte, nici măcar în principiu. Numai într- un asemenea context teoretic are sens să ne făurim viitorul.

Mai mult, pentru a contopi economia şi ecologia, trebuie să le concepem în termeni comuni – ca sisteme complexe deschise care evoluează în timp, cu dependenţă de drum şi multe stări de echilibru, guvernate de feedback. Aceasta corespunde descrierii succinte a economiei pe care am făcut-o aici, precum şi cadrului teoretic al ecologiei, clima fiind suma şi expresia unei reţele de reacţii chimice care acţionează şi sunt reglate de ciclurile de bază ale biosferei.[8]

*

Una dintre dificultăţile cu care ne confruntăm atunci când încercăm să purtăm o conversaţie constructivă despre viitor este incoerenta ce

caracterizează cultura noastră din prezent. Oamenii aflaţi la una dintre graniţele cunoaşterii practic nu ştiu despre ce vorbesc cercetătorii aflaţi la celelalte graniţe. Conversaţiile noastre sunt compartimentate. Majoritatea fizicienilor nu ştiu mare lucru despre progresele din biologie, necum despre ce se întâmplă în prima linie a teoriei sociale, şi n-au habar ce întrebări îşi pun unii altora artişti influenţi.

Pentru ca civilizaţia noastră să prospere, ar fi util să ne bazăm în luarea deciziilor pe o viziune coerentă asupra lumii în care, ca punct de pornire, să existe o convergenţă între ştiinţele naturii şi ştiinţele sociale. Realitatea timpului poate fi baza pentru această nouă convergenţă, în care viitorul e deschis, iar noutatea e posibilă la toate scările, de la legile fundamentale ale fizicii la organizarea economiei şi la ecologie.

în trecut, mari progrese conceptuale în fizică au avut ecou în ştiinţele sociale. Ideea lui Newton

de timp şi spaţiu absolut se spune că a influenţat în mare măsură teoria politică a contemporanului său John Locke. Ideea că poziţiile particulelor sunt definite nu una în raport cu alta, ci în raport cu spaţiul absolut s-a oglindit în ideea drepturilor definite pentru fiecare cetăţean în raport cu fundalul absolut şi imuabil al principiilor justiţiei.

Relativitatea generală a transformat fizica într-o teorie relaţională a spaţiului şi a timpului, în care toate proprietăţile sunt definite în termeni de relaţii. Se oglindeşte aceasta într-o mişcare analoagă în ştiinţele sociale? Eu cred că da şi că ea poate fi găsită în scrierile lui Unger şi ale altor teoreticieni sociali. Acestea explorează, în contextul teoriei sociale, implicaţiile unei filozofii relaţionale potrivit căreia toate proprietăţile atribuite agenţilor într-un sistem social rezultă din relaţiile şi interacţiunile lor reciproce. La fel ca într-o cosmologie leibniziană, nu există categorii sau legi atemporale

externe. Viitorul e deschis, fiindcă nu există nici o limită pentru noile moduri de organizare pe care le poate inventa o societate în permanenta ei confruntare cu probleme şi oportunităţi fără precedent.

Această nouă teorie socială încearcă să remodeleze democraţia într-o formă globală de organizare politică în măsură să călăuzească evoluţia societăţilor multietnice şi multiculturale în dezvoltare rapidă. Această democraţie reînnoită trebuie totodată să fie la înălţimea sarcinii de a lua deciziile necesare pentru a supravieţui crizelor globale generate de schimbarea climei.

Iată cum înţeleg eu că arată democraţia din perspectiva relaţională a noii filozofii. Fapt remarcabil, aceleaşi idei permit să se înţeleagă modul în care funcţionează ştiinţa. E un lucru important, deoarece provocarea reprezentată de schimbarea climei impune interacţiunea dintre ştiinţă şi politică.

Guvernarea democratică şi activitatea comunităţii ştiinţifice au evoluat pentru a armoniza câteva trăsături umane esenţiale. Suntem inteligenţi, dar avem metehne caracteristice. Putem studia raportul dintre noi şi natură în cursul unei singure vieţi, şi putem acumula cunoştinţe de-a lungul multor vieţi. Dar putem de asemenea gândi şi acţiona pripit. Asta înseamnă că adesea facem greşeli şi ne amăgim singuri. Pentru a combate înclinaţia noastră către eroare, am făurit societăţi care pun contradicţia dintre conservatori şi rebeli în slujba generaţiilor viitoare. Viitorul e într-adevăr incognoscibil, dar putem fi siguri că urmaşii noştri vor şti mult mai mult decât noi. Acţionând în cadrul unor comunităţi şi societăţi putem realiza mult mai mult decât putem ca indivizi, însă progresul necesită indivizi care să-şi asume riscul de a inventa şi testa idei noi.

Comunităţile ştiinţifice şi societăţile democratice mari din care au evoluat progresează fiindcă

activitatea lor e guvernată de două principii fundamentale.[9]

> (1) Atunci când argumentul raţional întemeiat pe dovezi publice e suficient pentru a decide într-o problemă, trebuie considerat că aceasta e decizia.
> (2) Atunci când argumentul raţional întemeiat pe dovezi publice nu e suficient pentru a decide într-o problemă, comunitatea trebuie să încurajeze un spectru larg de puncte de vedere şi ipoteze compatibile cu o încercare onestă de a obţine dovezi publice convingătoare.

Pe acestea eu le numesc *principiile viitorului deschis.* Ele stau la baza unui stadiu nou, pluralist, al Iluminismului – un stadiu în curs de apariţie. Respectăm puterea raţionamentului atunci când este decisivă, iar atunci când nu este, îi respectăm pe cei de bună-credintă care nu sunt de acord cu noi. Oamenii de bună-credintă sunt cei din cadrul *f*
comunităţii care acceptă aceste principii. în asemenea comunităţi

cunoaşterea poate progresa şi ne putem strădui să luăm decizii înţelepte în privinţa unui viitor care nu e complet cognoscibil.

*

Chiar şi în cazul acceptării totale a principiilor viitorului deschis, este improbabil ca ştiinţa să răspundă vreodată la unele întrebări care ne preocupă cel mai mult.

„De ce există ceva mai degrabă decât nimic?” Nu-mi pot imagina nimic care să servească drept răspuns la această întrebare, necum un răspuns susţinut de dovezi. Aici chiar şi religia eşuează, fiindcă dacă răspunsul este „Dumnezeu”, înseamnă că a existat ceva – adică Dumnezeu — de la care sa pornit. Sau: „Dacă timpul nu are început, atunci toate cauzele se îndepărtează în trecutul infinit?” Nu există o cauză finală a lucrurilor? Acestea sunt întrebări reale, dar dacă ele au răspunsuri, acestea probabil că vor rămâne pentru totdeauna în afara ştiinţei. Există apoi întrebări la care ştiinţa nu

poate răspunde acum, dar care în mod evident au sens, aşa încât e de sperat ca în viitor ştiinţa să dobândească limbajul, conceptele şi tehnicile experimentale pentru a le aborda.

Am arătat că tot ce este real şi adevărat e astfel într-un moment care este unul dintr-o succesiune de momente. Dar ce anume e real? Care este substanţa acestor momente şi procesele care le leagă între ele?

Putem accepta că universul nu este identic sau izomorf cu un obiect matematic, şi am susţinut că nu există o copie a universului, deci nu există nimic cu care universul să poată fi comparat. Şi atunci, ce este universul? Deşi nici o metaforă nu ne va lămuri, şi orice model matematic va fi incomplet, vrem totuşi să ştim în ce constă lumea. Nu „Cum arată?”, ci „Ce este?”. Care e substanţa lumii? Ne gândim că materia e simplă şi inertă, dar nu ştim nimic despre ce este materia cu adevărat. Ştim doar cum

interactionează. Care e esenţa existentei unei
pietre? Nu ştim; este un mister pe care orice descoperire privitoare la atomi, nuclee, cuarci şi aşa mai departe nu face decât să-l adâncească.

Aş vrea foarte mult să cunosc răspunsul la această întrebare. Uneori mă gândesc la ce este o piatră atunci când încerc să adorm, şi mă consolez cu ideea că trebuie să existe undeva un răspuns la întrebarea ce este universul. Dar n-am nici o idee cum să-l caut, cu ajutorul ştiinţei sau pe altă cale. Este atât de uşor să născoceşti lucruri, iar rafturile bibliotecilor sunt pline cu propuneri metafizice. Dar vrem cunoaştere reală, ceea ce înseamnă că trebuie să existe o metodă de a confirma un răspuns propus. Asta ne limitează la ştiinţă. Dacă mai există şi un alt drum către cunoaşterea credibilă a lumii în afară de ştiinţă, este improbabil ca eu să-l urmez, fiindcă viaţa mea e centrată pe loialitatea faţă de etica ştiinţei.

Cât priveşte ştiinţa însăşi, nu putem prezice viitorul (aceasta e ideea centrală a cărţii de faţă), dar perspectiva relaţionistă mă face să mă îndoiesc că ştiinţa ne poate spune ce este într-adevăr lumea. Aceasta deoarece relaţionismul afirmă că toate mărimile pe care fizica le poate măsura şi descrie se referă la relaţii şi interacţiuni. Când întrebăm despre *esenţa* materiei, sau a lumii, întrebăm ce este ea în mod intrinsec – ce este ea în absenţa relaţiilor şi a interacţiunilor.[10] Conform relaţionismului, nu există nimic în afara proprietăţilor definite de relaţii şi interacţiuni. Uneori ideea aceasta mi se pare convingătoare; alteori o găsesc absurdă. Ea se debarasează în mod abil de întrebarea ce sunt lucrurile în realitate. Dar are sens ca două lucruri să aibă o relaţie – să interactioneze – dacă ele nu sunt nimic în mod intrinsec?

S-ar putea ca existenţa să se reducă la relaţii. Dar dacă aşa stau lucrurile, există ceva ce încă nu

ştim despre cum poate sau trebuie să fie asta?

Acestea sunt întrebări prea profunde pentru mine. Cineva cu o altă pregătire şi un alt temperament poate că ar reuşi să înainteze către un răspuns, dar eu nu. Ceea ce însă nu pot face e să resping întrebarea ce este lumea în realitate socotind-o absurdă. Unii susţinători ai ştiinţei insistă că întrebările la care ştiinţa nu poate răspunde n-au sens, dar eu găsesc asta neconvingător – şi dovada unei viziuni înguste, neatrăgătoare, îndeletnicirea cu ştiinţa m-a dus la concluzia că viitorul e deschis, iar noutatea e reală. Odată ce eu definesc ştiinţa prin adeziunea la o etică mai degrabă decât la o metodă, trebuie să accept posibilitatea unor metodologii ştiinţifice pe care nimeni nu le-a conceput încă.

Ajungem astfel la problema *cu adevărat* dificilă: problema conştiinţei. Primesc o mulţime de e-mailuri despre conştiinţă. Celor mai multe le răspund că deşi există mistere reale în privinţa conştiinţei,

ştiinţa nu le poate aborda cu cunoştinţele actuale. Ca fizician, nu am nimic de spus în privinţa lor.

Există o singură persoană cu care sunt dispus să discut despre problema conştiinţei – un prieten drag pe nume James George. Jim este un diplomat pensionar care a fost înalt comisar— al Canadei în India şi Sri Lanka şi ambasador în Nepal, Iran şi statele din Golf, între alte ţări. Mi s-a spus că este legendarca exponent al diplomaţiei canadiene în epoca prim-miniştrilor Pearson— şi Trudeau—, când Canada a răspândit ideea menţinerii păcii în lume.

Trecut acum de nouăzeci de ani, el scrie cărţi despre bazele spirituale ale problemelor de mediu şi ajută la administrarea unei fundaţii dedicate protecţiei mediului.[11] Este foarte admirat de largul său cerc de prieteni şi cunoştinţe pentru sfaturile sale înţelepte – şi este unul dintre puţinii oameni pe care-i cunosc ce pare a fi călăuzit în viaţă

de o înţelepciune la care eu nu-mi imaginez că aş putea ajunge.

De aceea atunci când Jim îmi zice „Ce-mi spui tu despre semnificaţia timpului în fizică e fascinant, dar omiţi elementul esenţial către care conduce întreaga ta gândire, anume rolul conştiinţei în univers”, eu ascult. Ascult, însă nu am mare lucru de zis.

Dar cel puţin ştiu cu aproximaţie despre ce vorbeşte. Vreau să lămuresc ce înţeleg eu prin problema conştiinţei. Nu mă refer la întrebarea dacă am putea programa un calculator ca să-şi cunoască propria stare sau să reflecteze asupra ei. Nici la întrebarea cum evoluează sistemele din reţele de reacţii chimice pentru a deveni agenţi autonomi, termen folosit de Stuart Kauffman pentru a desemna sistemele ce pot lua decizii în propriul lor folos. Acestea sunt probleme dificile, dar ele par să fie probleme ştiinţifice rezolvabile.

Prin *problema conştiinţei* înţeleg că dacă descriu pe cineva folosind tot limbajul pe care ştiinţele fizicii şi

biologiei ni-l pun la dispoziţie, omit ceva. Creierul e o reţea vastă şi puternic interconectată de aproximativ 100 de miliarde de celule, fiecare fiind ea însăşi un sistem complex funcţionând pe baza unor lanţuri controlate de reacţii chimice. Oricât de amănunţit aş descrie toate acestea, niciodată nu m-aş apropia măcar de o explicaţie a faptului că persoana aceea are o experienţă interioară, un flux al conştiinţei. Dacă nu aş şti din propria mea experienţă că sunt conştient, cunoaşterea proceselor sale neurale nu mi-ar oferi nici un motiv să bănuiesc că ea este conştientă.

Cel mai mare mister, desigur, nu e conţinutul conştiinţei noastre, ci *faptul* că suntem conştienţi. Leibniz şi-a imaginat că se micşorează şi se plimbă prin creierul cuiva la fel cum s-ar plimba printr-o moară (în zilele noastre am spune „o fabrică”). în cazul morii, i-am putea face o descriere completă, prezentând ce ar vedea o persoană care s-ar plimba în interiorul ei. în cazul

creierului, nu am putea.

Un mod de a spune că ceva este omis din descrierea fizică a funcţionării creierului este să menţionăm câteva întrebări la care

>

descrierea fizică nu răspunde. Tu şi cu mine ne uităm la femeia în rochie roşie care stă la masa de alături. Oare amândoi avem aceeaşi senzaţie (de roşu, vreau să spun)? S-ar putea ca ceea ce tu percepi ca roşu să fie senzaţia pe care eu o percep ca albastru? Cum ne-am putea da seama?

Să presupunem că vederea ni se extinde în ultraviolet. Cum ar arăta noile culori? Ce senzaţie ne-ar crea?

>

Ceea ce lipseşte atunci când descriem o culoare ca o lungime de undă a luminii, sau ca activarea unor neuroni din creier, este esenţa experienţei de a percepe roşul. Filozofii au un termen pentru aceste esenţe: *qualia.* întrebarea este de ce percepem qualia de roşu atunci când ochii noştri absorb fotoni cu o anumită lungime de undă? Este ceea ce filozoful David Chalmers

numeşte *problema dificilă a conştiinţei [the hard question of consciousness].*

Iată un alt mod de a o formula: să presupunem că am cartografiat circuitele neuronale ale creierului tău pe un cip de siliciu şi am încărcat creierul tău pe un calculator. Ar fi conştient acel calculator? Ar avea qualia? Să presupunem că ai putea s-o faci fără să te răneşti. Ar exista atunci două fiinţe conştiente având amintirile tale şi al căror viitor ar diverge din acel moment?

Problema pusă de qualia, sau de conştiinţă, pare insolubilă prin metodele ştiinţei, fiindcă e un aspect al lumii care nu e inclus atunci când descriem toate interacţiunile fizice dintre particule. Ea ţine de domeniul întrebărilor privind ce e lumea în realitate, nu cum poate fi reprezentată.

Unii filozofi susţin că pur şi simplu qualia sunt identice cu anumite procese neuronale. Asta mi se pare greşit. Qualia se prea poate să fie corelate cu procese

neuronale, dar nu coincid cu ele. Procesele neurale pot fi descrise cu ajutorul fizicii şi chimiei, dar nici o descriere, oricât de detaliată, în termenii acestora nu va răspunde la întrebarea cum sunt qualia şi nu va explica de ce le percepem.

Nu mă îndoiesc că am putea învăţa o mulţime de lucruri despre relaţia dintre qualia şi creier care ne-ar apropia de formularea problemelor conştiinţei şi ale qualia ca probleme ştiinţifice. Putem face experimente asupra unor subiecţi conştienţi din care să învăţăm ce anume trăsături sau aspecte ale proceselor neuronale sunt asociate cu qualia. Acestea sunt probleme ştiinţifice, abordabile prin metodologiile ştiinţei.

întrebările privind qualia fac din conştiinţă un mister autentic, care până acum nu a fost lămurit prin metodele ştiinţei. Nu ştiu dacă va fi vreodată. Poate că atunci când vom şti mult mai multe despre biologie şi creier se va produce o transformare revoluţionară în limbajul pe care-l folosim pentru a descrie animalele

vii şi gânditoare. După acea revoluţie, vom dispune de concepte şi de un limbaj inimaginabile în prezent, care ne vor permite să formulăm misterele conştiinţei şi ale qualia ca probleme ştiinţifice.

Problema conştiinţei e un aspect al întrebării ce este lumea în realitate. Nu ştim ce este în realitate o piatră, un atom sau un electron. Putem doar să observăm cum interacţionează ele cu alte lucruri, iar în felul acesta să descriem proprietăţile lor relaţionale. Poate că orice lucru are aspecte externe şi interne. Proprietăţile externe sunt acelea pe care ştiinţa le poate capta şi descrie – prin interacţiuni, în termeni de relaţii. Aspectul intern este esenţa intrinsecă; este realitatea ce nu poate fi exprimată în limbajul interacţiunilor şi al relaţiilor. Conştiinţa, indiferent ce este ea, este un aspect al esenţei intrinseci a creierului.

Un alt aspect al conştiinţei este că se desfăşoară în timp. Într-adevăr, atunci când afirm că

întotdeauna este un anumit moment de timp în lume, extrapolez pornind de la faptul că experienţele mele asupra lumii se desfăşoară întotdeauna în timp. Dar ce înţeleg prin experienţele mele? Pot vorbi despre ele la modul ştiinţific ca exemple de înregistrări ale unor informaţii. Pentru a vorbi astfel, nu am nevoie să menţionez conştiinţa sau qualia. Dar asta poate fi o eschivare, fiindcă acele experienţe au aspecte care sunt conştiinţă sau qualia. De aceea
convingerea mea că ceea ce e real este real în momentul prezent se leagă de convingerea mea că qualia sunt reale.

---

20. Indicele Preturilor de Consum măsoară
—— >
schimbările de preţ ale coşului mediu de bunuri şi servicii achiziţionate de o familie (n. tr.).

21. *High commissioner,* reprezentant al guvernului unei ţări din Commonwealth într-o altă ţară din Commonwealth (n. tr.).

22. Lester Bowles Pearson (1897-

1972), prim-ministru al Canadei între anii 1963 şi 1968, s-a remarcat ca mediator în disputele internaţionale. A primit Premiul Nobel pentru Pace în 1957 (n. tr.).

23. Pierre Elliott Trudeau (1919-2000), politician liberal, prim-ministru al Canadei între anii 1968-1979 şi 1980-1984 (n. tr.).

*

Ştiinţa este una dintre marile aventuri umane. Progresul cunoaşterii este esenţa oricărei relatări a istoriei umane, iar pentru cei destul de norocoşi să participe la ea, chintesenţa vieţii noastre. Deşi viitorul e imprevizibil – altminteri nu ar exista cercetare –, singura certitudine este că în viitor vom şti mai multe. Căci la fiecare dimensiune, de la starea cuantică a unui atom până la cosmos, şi la orice nivel de complexitate, de la un foton creat în universul timpuriu şi care zboară către noi până la personalităţile şi societăţile umane, cheia este timpul, iar viitorul este deschis.

Note

PREFAŢĂ

1. Cartea aceasta poate fi considerată o introducere la o lucrare de filozofie naturală riguros argumentată, sau o popularizare a ei, la care colaborez cu Roberto Mangabeira Unger — din care va rezulta o carte intitulată provizoriu *The Singular Universe and the Reality of Time,* în care susţinem realitatea timpului şi evoluţia legilor, şi examinăm posibile soluţii la ceea ce noi am numit *dilema meta-legilor* (vezi capitolul 19).
2. Versiuni anterioare ale argumentelor prezentate aici pot fi găsite în următoarele articole, precum şi în lucrările de cercetare enumerate în notele de mai jos:
   Lee Smolin, „A Perspective on the Landscape Problem”, arXiv:1202.

3373vl [physics.hist-ph] (2012);
—, „The Unique Universe”, *Phys. World, 2* iunie, 21-26 (2009);
—, „The Case for Background Independence”, în *The Structural Foundations of Quantum Gravity,* ed. Dean Rickies *et al.* (New York: Oxford University Press, 2007);
—, „The Present Moment in Quantum Cosmology: Challenges for the Argument for the Elimination of Time”, în *Time and the Instant,* ed. Robin Durie (Manchester, U.K.: Clinamen Press, 2000);
—, „Thinking in Time Versus Thinking Outside of Time”, în *This Will Make You Smarter,* ed. John Brockman (New York: Harper Perennial, 2012);
Stuart Kauffman şi Lee Smolin, „A Possible Solution to the Problem of Time in Quantum Cosmology”, arXiv:gr- qc/9703026vl (1997).

INTRODUCERE

1. Perspectiva aceasta desconsideră nu doar timpul, fiindcă ea reduce

toate aspectele experienţei noastre în lume – culoare, atingere, muzică, emoţii, gânduri complexe – la rearanjări ale atomilor. Acesta e miezul viziunii atomiştilor asupra lumii, propusă de Democrit şi Lucreţiu, formalizată în „calităţile primare şi secundare” ale lui John Locke, şi confirmată după câte s-ar părea de toate aspectele progresului ştiinţei de atunci încoace. În viziunea aceasta, reală este mişcarea – în concepţia modernă, tranziţiile între stări cuantice. Tot restul este într-o mai mică sau mai mare măsură iluzie. Scopul meu nu e să pun la îndoială această cunoaştere, din care mare parte trebuie considerată adevărată, fiind atât de bine susţinută de ştiinţă. îmi propun doar să contest ultimul pas, care afirmă că şi timpul este o iluzie.

2. Singura excepţie, aşa cum vom vedea pe larg în capitolul 11, este dacă se poate argumenta că universul nostru e un membru tipic al unui ansamblu de

universuri.

3. Unii cititori se vor întreba imediat dacă
   trebuie să existe legi care guvernează evoluţia legilor. Aceasta duce la problema meta-legilor, discutată pe larg în capitolul 19.
4. Charles Sanders Peirce, „The Architecture of Theories”, *The Monist,* 1:2, 161-176 (1891).
5. Roberto Mangabeira Unger, *Social Theory: Its Situation and Its Task,* vol. 2 din *Politics,* (New York: Verso, 2004), pp. 179-180.
6. Paul A.M. Dirac, „The Relation Between Mathematics and Physics”, *Proc. Roy. Soc.* (Edinburgh) 59: 122-29 (1939).
7. Citat în James Gleick, *Genius: the Life and Science of Richard Feynman* (New York: Pantheon, 1992), p. 93.
8. „Richard Feynman — Take the World
   from another Point of View”, *NOVA* (PBS, 1973). Transcript la http://calteches. library, caltech.

edu/
3 5/2/Pointo fView.htm.

9. Ideea aceasta a fost publicată pentru prima oară în Lee Smolin, „Did the Universe Evolve?”, *Class.Quantum. Grav.* 9: 173191 (1992).
10. „Dinamic” este un cuvânt pe care-l utilizez frecvent în această carte. El înseamnă schimbător, supus legii.

1. CĂDEREA
1. Aceasta în pofida multor încercări serioase ale filozofilor islamici şi medievali de a înţelege cauzele mişcării.
2. Matematicienilor le place să desemneze curbele, numerele etc. ca „obiecte” matematice, ceea ce implică un tip de existenţă. Dacă nu sunteţi dispuşi să adoptaţi o poziţie filozofică radicală printr-o obişnuinţă de limbaj, le puteţi numi concepte. Eu voi folosi ambele cuvinte în mod interşanjabil când discut despre matematică, pentru a evita întrebarea ce tip de existenţă au.

3. De asemenea, nu este *întru totul* adevărat să spunem că adevărurile matematicii sunt în afara timpului, deoarece, ca fiinţe omeneşti, percepţiile şi gândurile noastre au loc la anumite momente în timp – iar între lucrurile la care ne gândim în timp sunt obiectele matematice. Atâta doar că acele obiecte matematice nu par să aibă ele însele o existenţă în timp. Ele nu iau fiinţă şi nu se schimbă, ci doar sunt.
4. Mulţi mari matematicieni cred asta, de pildă Alain Connes. Vezi Jean-Pierre Changeux şi Alain Connes, *Conversations on Mind, Matter, and Mathematics,* ed. şi trad. M.B. DeBevoise (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998).

2. DISPARIŢIA TIMPULUI

1. Ne putem întreba dacă în Antichitate cineva a observat că apa dintr-o fântână arteziană urmează o traiectorie parabolică. Există vase greceşti care arată

apa din arteziene căzând de-a lungul a ceea ce par a fi parabole, aşa încât nu e imposibil ca un matematician să fi observat asta şi să se fi întrebat dacă în general corpurile în cădere descriu parabole.

2. Aristotel, *On the Heavens,* Cartea 1, capitolul 3 [Aristotel, *Despre cer,* trad. în limba română de Şerban Nicolau, Paideia, Bucureşti, 2005].
3. Cunosc mai mulţi matematicieni şi fizicieni care au avut de ales între o carieră în muzică sau în ştiinţă. Unul dintre ei este Joao Magueijo, care a studiat muzica clasică contemporană înainte de a decide să treacă la fizică. Fiind un om al extremelor, el spune că de atunci nu a mai atins un pian. Faptul că-l cunosc mă ajută să-mi imaginez caracterul lui Gabiei.
4. Imagine din: Peter Apian, *Cosmographia* (1539). Retipărită în Alexandre Koyre, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, MD; Johns Hopkins, 1957).

5. După cum se sugerează în *Agora,* un film din 2009 al regizorului hispano-chilian Alej andro Amenabar.
6. Când Newton a prezentat consecinţele legilor sale ale mişcării în cartea sa *Principia Mathematica,* el a folosit matematica elementară în locul calculului diferenţial, pe care-l inventase cu mult timp înainte. Aceasta pare un mister până când ne dăm seama că el încă nu publicase calculul diferenţial; aşa încât a trebuit să- şi explice descoperirile cu ajutorul unei matematici cunoscute cititorilor săi.
7. Să considerăm o minge care cade aproape de suprafaţa Pământului. Ea este atrasă de gravitaţia fiecărui atom care alcătuieşte Pământul. O intuiţie esenţială a lui Newton a fost că toate aceste forţe pot fi însumate, iar rezultatul este ca şi cum mingea ar fi atrasă de un singur obiect aflat în centrul Pământului. Dacă arunc mingea în sus, distanţa

creşte cu câţiva metri, adică o schimbare foarte mică, aşa încât forţa practic nu se schimbă. Forţa asupra unui obiect aruncat sau lăsat să cadă poate fi considerată constantă. Rezultă de aici că acceleraţia r este constantă – marea descoperire a lui Galilei.

3. UN JOC CU MINGEA

1. Unii vor obiecta că matematica poate să codifice timpul – de pildă, f(t) este o funcţie de timp. Dar omit esenţialul, anume că funcţia f(t) este atemporală.

4. A FACE FIZICĂ ÎNTR-O CUTIE

1. Sara Diamond *et al., CodeZebra Habituation Cage Performances* (Rotterdam: Dutch Electronic Arts Festival, 2003).
2. îi mulţumesc lui Saint Clair Cemin pentru discuţia pe această temă.
3. Să considerăm un sistem de stele care se mişcă sub influenţa gravitaţională reciprocă. Interacţiunea a două stele poate fi descrisă exact; Newton a rezolvat problema aceasta. Dar problema

de a descrie interacţiunea gravitaţională a trei stele nu admite o soluţie exactă. Orice sistem alcătuit din trei sau mai multe corpuri trebuie tratat aproximativ. Asemenea sisteme prezintă o gamă largă de comportamente, între care haosul şi o sensibilitate extremă la condiţiile initiale. Deşi este cel mai simplu sistem — după problema celor două stele, rezolvată de Newton în secolul XVII – aceste fenomene nu au fost descoperite decât la începutul secolului XX de matematicianul francez Henri Poincare. Pentru a înţelege aşa-numita problemă a celor trei corpuri a fost necesară inventarea unei întregi noi ramuri a matematicii: teoria haosului. Mai recent, sisteme de mii sau milioane de corpuri pot fi tratate în simulări pe supercomputere. Acestea ne-au permis să înţelegem comportamentul stelelor în galaxii şi chiar interacţiunile dintre galaxii în

roiuri. Dar rezultatele obţinute, deşi utile, se bazează pe aproximaţii dintre cele mai grosiere. Stele alcătuite dintr-un număr enorm de atomi sunt tratate ca şi cum ar fi puncte, iar influenţa a tot ce există în afara sistemului este de regulă ignorată.

5. ELIMINAREA NOULUI ŞI A SURPRIZEI

1. Unde vom formula şi explica aparentul paradox că legile termodinamicii, precum legea conform căreia entropia poate doar să crească, nu sunt reversibile în timp, câtă vreme legile „mai fundamentale” sunt reversibile.
2. Ludwig Boltzmann, *Lectures on Gas Theory* (Dover Publications, 2011).

6. RELATIVITATE ŞI ATEMPORALITATE

1. *The Principie of Relativity* (Dover Publications, 1952), constând din şapte articole ale lui Einstein, două ale lui Hendrik Antoon

Lorentz şi câte unul al lui Hermann Weyl şi Hermann Minkowski.

2. „On the Electrodynamics of Moving Bodies”, *Ann. der Phys.* 17(10): 891-921;

   „Does the Inerţia of a Body Depend upon Its Energy Content?”, *Ann. der Phys.* 18: 639-641 (1905).
3. Cititorii care vor să vadă argumentele explicate în felul acesta pot consulta anexele online la www.timereborn.com.
4. Riguros vorbind, nu e necesar să presupunem că viteza luminii este o viteză limită, dar aceasta simplifică mult pedagogia.
5. Nu este acelaşi lucru cu a spune că există un fapt legat de simultaneitatea a două evenimente, care însă nu poate fi cunoscut. Deoarece observatori diferiţi nu vor fi de acord dacă două evenimente sunt simultane, a spune că ele sunt sau nu astfel nu are nici o semnificaţie obiectivă.

6. Aceasta *nu* înseamnă că toate ceasurile vor ticăi de acelaşi număr de ori între două evenimente. Să considerăm două ceasuri în mişcare care trec unul pe lângă altul atunci când ambele indică amiaza, după care se despart. Unul din ele accelerează şi îşi schimbă direcţia de mişcare, trecând din nou pe lângă celălalt atunci când acesta indică 12:01. Ceasul accelerat va indica un timp diferit. Dar esenţial este că toti observatorii vor fi de acord de câte ori ticăie un anumit ceas între două
evenimente. Ceasul care ticăie de cele mai multe ori între două evenimente este cel în cădere liberă – şi, fiindcă timpul măsurat de un ceas în cădere liberă se distinge în felul acesta, îl numim timp propriu.
7. Hermann Weyl, *Philosophy of Mathematics andNatural Science*
(Princeton, NJ: Princeton University Press, 1949).
8. Dacă regiunea din spaţiu-timp

este limitată în spaţiu, putem de asemenea ajunge de la oricare A la oricare B din viitorul cauzal al lui A printr-o serie de paşi folosind câţiva X intermediari. Aşadar, întinderea infinită a spaţiului-timp Minkowski ajută la formularea argumentului într-un singur pas elegant, dar aceasta nu este esenţial.

9. Hilary Putnam, „Time and Physical Geometry”, *Jour. Phil.* 64: 240-247 (1967).
10. John Randolph Lucas, *The Future* (Oxford, U.K.: Blackwell, 1990) p. 8.
11. Geodezicele din spaţiu-timp, spre deosebire de cele din spaţiu, sunt drumurile care urmează timpul cel mai propriu în loc de cea mai mică distanţă. Aceasta e o ciudăţenie a modului cum este formulată geometria spaţiului-timp; un ceas în cădere liberă ticăie mai repede, şi deci mai des, decât oricare alt ceas care se deplasează între două evenimente. De aici rezultă un sfat bun: dacă vrei să rămâi tânăr,

[3]

accelerează.

12. Denumirea tehnică pentru această proprietate este *invarianţa coordonatelor generale;* ea e strâns legată de o altă proprietate numită *invarianţa difeomorfismelor.* Mecanica newtoniană poate fi de asemenea formulată într-un mod în care ceasul să fie parte a sistemului şi să existe o libertate completă în specificarea lui. Formularea aceasta a fost dezvoltată de Julian Barbour în colaborare cu Bruno Bertotti. Ea tinde să facă relaţională paradigma newtoniană, dar se bazează în continuare pe legi atemporale care acţionează asupra unui spaţiu al configuraţiilor atemporal.

7. COSMOLOGIA CUANTICĂ ŞI SFÂRŞITUL TIMPULUI

1. Charles W. Misner, Kip S. Thorne şi John Archibald Wheeler, *Gravitation* (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).
2. Mai multe despre diversele

interpretări ale teoriei cuantice şi implicaţiile lor pentru argumentele din această carte pot fi găsite în anexele online.

3. Starea cuantică furnizează aceste probabilităţi prin intermediul unui proces în doi paşi. în primul pas, starea cuantică poate fi reprezentată atribuind oricărei configuraţii posibile un număr, numit *amplitudinea cuantică* a acelei configuraţii. în pasul al doilea se calculează pătratul modulului amplitudinii fiecărei configuraţii pentru a obţine probabilitatea ca sistemul să se afle în acea configuraţie. De ce aceşti doi paşi? Amplitudinea este un număr complex – o combinaţie de două numere reale obişnuite.[3] Codificarea aceasta permite ca distribuţiile de probabilitate pentru alte mărimi, de pildă impulsul, să fie codificate în aceeaşi stare cuantică.
4. Prin urmare, dacă vrem să verificăm predicţia provenită dintr-o stare cuantică despre probabilităţile de a găsi electronii

atomului în diverse locuri, preparăm un număr mare de atomi în acea stare şi măsurăm poziţiile electronilor în fiecare dintre ei. însumând aceste rezultate obţinem distribuţia experimentală a probabilităţilor. Putem compara probabilitatea experimentală cu cea teoretică, aşa cum e calculată din starea cuantică. Dacă ele concordă într-o marjă de eroare rezonabilă, avem dovada că afirmaţia iniţială potrivit căreia sistemul se află într-o anumită stare cuantică este corectă.

5. Constanta de proporţienalitate este *h,* faimoasa constantă a lui Planck, care desemnează valoarea cuantei de acţiune şi este numită după Max Planck, descoperitorul ei.
6. Există descrieri aproximative ale stărilor cosmologice cuantice corespunzând unor universuri în expansiune, dar acestea se bazează pe alegeri foarte delicate ale condiţiilor iniţiale. Starea generică este o suprapunere de

universuri în expansiune şi în contracţie. Trebuie să menţionez de

asemenea că acesta nu este singurul argument pentru eliminarea timpului în cosmologia cuantică, dar pentru scopurile noastre e suficient. Alte argumente sunt date în contextul abordărilor gravitaţiei cuantice pe baza integralelor de drum; de asemenea, Connes şi Rovelli propun că timpul apare ca o consecinţă a faptului că universul are o temperatură finită.

7. O altă problemă rezultă din faptul că în mecanica cuantică nu toate proprietăţile care pot fi observate au valori bine definite în orice moment. Deci nu toate stările cuantice ale unui sistem au valori bine definite ale energiei sistemului, dar unele dintre ele au. Se dovedeşte de asemenea că aceste stări cu energie bine definită vibrează cu o frecventă bine definită. De fapt, asta e tot ce fac ele – vibrează pe loc cu o

frecvenţă proporţională cu energia sistemului.

Pentru multe sisteme, există un set discret de stări cu energie bine definită. Spunem că energia acestor sisteme e cuantificată. Dar majoritatea stărilor cuantice nu au valori bine definite ale energiei; într-o astfel de stare, există probabilităţi ca sistemul să aibă diferite energii. Sistemele aflate în asemenea stări nu au nici valori bine definite ale frecventei.

Pentru ca un sistem cuantic să facă mai mult decât doar să oscileze pe loc, el trebuie pus într-o stare fără o valoare bine definită a energiei. Acest lucru e uşor de realizat datorită unui principiu numit *principiul superpoziţiei,* care afirmă că stările cuantice pot fi însumate. Acesta e un aspect care ţine de proprietăţile ondulatorii ale unui sistem cuantic: coarda unei chitare sau a unui pian vibrează cu mai multe frecvenţe simultan, iar mişcarea corzii este suma oscilaţiilor la fiecare frecvenţă

individuală. Aruncă două pietre într-o găleată cu apă: fiecare generează o undă, iar tiparul pe suprafaţa apei atunci când ele se întâlnesc este suma tiparelor formate de fiecare plescăit în parte. Principiul superpoziţiei funcţionează la fel; date fiind două stări cuantice oarecare, prin însumarea lor se poate forma o a treia stare.

Această capacitate de a însuma stările cuantice e esenţială pentru argumentul nostru că fizica newtoniană aproximează mecanica cuantică. Avem nevoie de ea pentru a reproduce faptul simplu că în fizica newtoniană configuraţiile se modifică odată cu mişcarea particulelor în spaţiu. Aceasta nu se poate deduce din stări care doar oscilează în timp, aşa cum fac stările cu energie bine definită. Pentru a reproduce mişcarea, avem nevoie de stări cu un comportament mai complex, iar aceasta necesită stări cu valori nedefinite ale energiei. Ele sunt construite însumând, sau

suprapunând, stări cu energii diferite.

Dar în cosmologia cuantică toate stările au aceeaşi energie, aşa încât metoda uzuală de a extrage mişcarea obişnuită din fizica cuantică eşuează. Nu putem deduce predicţiile relativităţii generale din stările cuantice ale universului.

8. Abhay Ashtekar, „New Variables for Classical and Quantum Gravity”, *Phys. Rev. Lett.* 57:18, 2244-2247 (1986).
9. Ted Jacobson şi Lee Smolin, „Nonperturbative Quantum Geometries”, *Nucl. Phys. B.,* 299:2, 295-345 (1988).
10. Carlo Rovelli şi Lee Smolin, „Knot Theory and Quantum Gravity”, *Phys. Rev. Lett.* 61:10, 1155-1158 (1988).
11. Thomas Thiemann, „Quantum Spin Dynamics (QSD): II. The Kernel of the Wheeler-DeWitt Constraint Operator”, *Class. Quantum Grav.* 15, 875-905 (1998).
12. Modele de cosmologie cuantică

recent elaborate studiază versiunile cuantice ale unor modele cosmologice simplificate asemănătoare celor pe care le-am discutat în capitolul 6. Ele se numesc modele cosmologice cuantice cu bucle. Modele anterioare de cosmologie cuantică au fost studiate folosind aproximaţii grosiere care au estompat chestiunile fundamentale; modelele recente sunt simple şi suficient de precis definite pentru a furniza soluţii exacte ale acestor ecuaţii. Deşi impresionante, trebuie subliniat că sunt modele extrem de simplificate. în particular, problema timpului este ocolită, vorbindu-se nu despre timp ci despre corelaţiile dintre valorile diferitelor observabile. Un câmp este tratat ca un ceas în raport cu care sunt măsurate schimbările din celelalte câmpuri. Aceasta oferă o metodă aproximativă şi relaţională de a extrage timpul dintr-o descriere atemporală a lumii. Mai mult, chestiunile nu se

limitează la gravitaţia cuantică cu bucle sau la cosmologia cuantică cu bucle, chiar dacă acestea sunt cele mai urgente în contextele respective. Teoria corzilor, în măsura în care poate fi aplicată unui context cosmologic închis, posedă un analog al ecuaţiei Wheeler-DeWitt. Problema interpretării universului atemporal care rezultă este o provocare pentru toţi teoreticienii care se gândesc la unificare sau la universul foarte timpuriu.

INTERLUDIU: NEMULŢUMIREA LUI EINSTEIN

1. Jim Brown îmi spune că Rudolf Carnap se gândea la ceva asemănător distincţiei dintre mărimile principale şi secundare. Noi percepem roşu, dar ce se întâmplă în realitate este că atomii vibrează şi emit lumină cu o anumită frecvenţă. Percepem trecerea timpului, dar adevărul este că suntem un mănunchi de linii de univers într-un univers-bloc, cu capacitatea de a percepe

şi a depozita amintiri. Pentru mine, acesta e un mod de a enunţa problema, dar nu o rezolvă.

2. *The Philosophy of Rudolf Carnap: Intellectucd Autobiography,* ed. Paul Arthur Schillp (La Salle, IL: Open Court, 1963) pp. 37-38.

8. EROAREA COSMOLOGICĂ

1. Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA:Westholme Publishing, 2011).
2. Andrew Strominger, „Superstrings with Torsion”, *Nuci. Phys. B* 274:2, 253-284 (1986).
3. O dilemă este un raţionament care

   presupune alegerea între două concluzii, nici una din ele acceptabilă.
4. Cineva ar putea obiecta că atunci când construim modele cosmologice în relativitatea generală aplicăm ecuaţiile lui Einstein întregului univers. Dar nu e adevărat. De fapt, aplicăm o

trunchiere a ecuaţiilor lui Einstein unui subsistem care constă în raza de curbură a universului. Tot ce este mic – inclusiv noi, observatorii – este eliminat din sistemul modelat.

5. De exemplu, Modelul Standard ar putea fi extins prin adăugarea unor particule extrem de masive, care practic nu ar afecta universul în cea mai mare parte a istoriei sale.

9. PROVOCAREA COSMOLOGICĂ

1. Alte structuri de fundal fixe includ geometria spaţiilor în care există stările cuantice; noţiunea de distanţă pe acele spaţii, folosită pentru a defini probabilităţile; şi geometria spaţiilor în care există gradele de libertate ale Modelului Standard. Structurile de fundal folosite în relativitatea generală includ structura diferenţială a spaţiului-timp şi, adesea, geometria graniţelor asimptotice.
2. Termenii *dependent de fundal* şi *independent de fundal* au o semnificaţie mai restrânsă în

discuţiile despre teoriile cuantice ale gravitaţiei; în acel context, o teorie dependentă de fundal este una care presupune un fundal fix de spaţiu-timp clasic. Teoriile perturbative, precum relativitatea generală cuantică perturbativă şi teoria perturbativă a corzilor, sunt dependente de fundal. Abordările independente de fundal ale gravitaţiei cuantice includ gravitaţia cuantică cu bucle, mulţimile cauzale, triangulaţiile dinamice cauzale şi grafurile cuantice.

3. Amit P.S. Yadav şi Benjamin Wandelt, „Detection of Primordial Non-Gaussianity (fNL) in the WMAP 3-Year Data at Above 99.5% Confidence”, arXiv:0712.1148 [astro-ph], PRL100,181301, 2008.
4. Xingang Chen *et al.,* „Observational Signatures and Non-Gaussianities of General Single Field Inflation”, arXiv:hep-th/0605045v4 (2008); Clifford Cheung *et al.,* „The Effective Field Theory of

Inflation”, arXiv.org/abs/0709.0293v2 [hep-th] (2008); R. Holman şi Andrew J. Tolley, „Enhanced Non-Gaussianity from Excited Initial States”, arXiv:0710.1302v2 (2008).

5. Asta nu înseamnă că efectele condiţiilor > iniţiale asupra CMB nu pot fi niciodată distinse de modificările teoriei inflaţionare, cel puţin în cadrul unei clase fixe de modele. Vezi Ivan Agullo, Jose Navarro-Salas, Leonard Parker, arXiv:1112.1581v2. Multe mulţumiri lui [3] Matthew Johnson pentru discuţiile asupra acestui aspect.
6. Unicitatea universului zădărniceşte alte încercări de a testa teoriile despre universul timpuriu. în laboratoarele de fizică obişnuite, ne confruntăm întotdeauna cu zgomotul care apare din incertitudinile statistice în date. Deseori acesta poate fi redus efectuând multe

măsurători, fiindcă efectul zgomotului aleatoriu scade odată cu medierea unui număr mai mare de rezultate. Dat fiind că universul se petrece o singură dată, acest lucru e imposibil în unele observaţii cosmologice. Aceste incertitudini statistice se numesc *variantă cosmică [cosmic variance].*

7. Lee Smolin, „The Thermodynamics of Gravitaţional Radiation”, *Gen. Rel. & Grav.* 16:3, 205-210 (1984); „On the Intrinsic Entropy of the Gravitaţional Field”, *Gen. Rel. & Grav.* 17:5, 417-437 (1985).
8. Poate că o tranziţie de fază ne va nimici, odată cu dezintegrarea vidului fals în care poate că trăim. Vezi, de exemplu, Sidney Coleman şi Frank de Luccia, „Gravitaţional Effects on and of Vacuum Decay”, *Phys. Rev. D* 21:12, 3305-3315 (1980).
9. Aceasta, fiindcă veni vorba, explică de ce corpurile în cădere urmează o traiectorie parabolică – acele curbe satisfac ecuaţii

simple care necesită numai două tipuri de date pentru a le defini, anume acceleraţia gravitaţională şi viteza şi direcţia iniţiale ale mişcării.

10. PRINCIPII PENTRU O COSMOLOGIE NOUĂ

1. Urmez aici sfatul lui David Finkelstein, profesor emeritus la Georgia Tech şi unul dintre înţelepţii fizicii contemporane, care mi-a spus cândva că un start eficient pentru marele salt conceptual necesar în fizică este oferit de examinarea istoriei sale din ultimele patru secole.
2. Trebuie făcută distincţia între simetrie şi simetrie de etalonare. Prima presupune transformări fizice care lasă legile neschimbate. A doua este o reformulare matematică a descrierii configuraţiei unui sistem. Argumentul pe care-l ofer aici o exclude pe prima, dar nu şi pe a doua.
3. E. Noether, „Invariante Variationsprobleme”, *Nachr. v. d.*

Ges. d. Wiss. zu Gdttingen, pp. 235-257 (1918).

4. Acest raţionament general este confirmat în teoria relativităţii generale, care, atunci când e aplicată unui univers închis, nu are nici simetrii, nici legi de conservare.
5. Roger Penrose a susţinut asta cu mult timp în urmă. într-adevăr, vedem din exemplul teoriei corzilor că, cu cât o teorie e mai simetrică, cu atât puterea ei explicativă e mai redusă.
6. Singurul lucru imprecis din concluzia lui Peirce este ce înţelegea el prin evoluţie. Oamenii de ştiinţă au arătat că el se referea la ceva asemănător selecţiei naturale darwiniste. Se ştie că Peirce a fost mult influenţat de Darwin. Dar numai

>

pe baza textului putem presupune doar că el înţelegea evoluţia în sensul mai general al schimbării în timp conform unui anumit proces dinamic. Asta e suficient pentru scopul prezentei noastre

discuţii, care este de a stabili că întrebarea „De ce legile acestea?” poate fi explicată ştiinţific numai dacă timpul este real.

7. Roberto Mangabeira Unger, manuscris.

11. EVOLUŢIA LEGILOR

1. Lee Smolin, „Did the Universe Evolve?”, *Class. Quant. Grav.* 9: 173-191 (1992).
2. Alex Vilenkin, „Birth of Inflationary Universes”, *Phys. Rev. D,* 27:12, 28482855 (1983); Andrei Linde, „Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe”, *Phys. Lett. B,* 175:4, 395-400 (1986).
3. Au fost publicate mai multe critici la adresa selecţiei naturale cosmologice, şi din câte ştiu am răspuns la toate în anexa la *The Life of the Cosmos* şi în articolele ulterioare. Pentru critici, vezi T. Rothman şi G.F.R. Ellis, „Smolin’s Natural Selection Hypothesis”, *Q. Jour. Roy. Astr. Soc.* 34, 201-212 (1993); Alex Vilenkin, „On Cosmic

Natural Selection", arXiv:hep-th/0610051v2 (2006); Edward R. Harrison, „The Natural Selection of Universes Containing Intelligent Life", Q. *Jour. Roy. Astr. Soc.* 36, 193-203 (1995); Joseph Silk, „Holistic Cosmology", *Science,* 277:5326, 644 (1997); şi John D. Barrow, „Varying G and Other C onstants „, arXiv: gr-qc/9711084v 1 (1997). În particular, afirmaţia că există un argument simplu conform căruia modificarea constantei lui Newton (toţi ceilalţi parametri fiind fixaţi) duce la creşterea numărului de găuri negre este greşită, deoarece efectele complicate asupra formării galaxiilor şi a stelelor şi a evoluţiei stelare nu sunt luate în considerare.

4. în evoluţia biologică există de fapt două peisaje: peisajul genelor, care descrie genotipurile posibile (secvenţe ADN), şi peisajul fenotipurilor, care sunt

expresia fizică a genelor. în aplicarea selecţiei naturale în fizică, există tot două niveluri ale descrierii. Probabilitatea ca un univers să se reproducă depinde de valorile parametrilor Modelului Standard – aceştia sunt analogi cu fenotipurile. Dar într-o teorie fundamentală precum teoria corzilor, Modelul Standard e o descriere aproximativă; la baza lui se află o alegere a teoriilor – acestea sunt analoage genotipurilor. în evoluţia biologică, relaţia dintre genotip şi fenotip poate fi complexă şi indirectă, iar acelaşi lucru e valabil şi în fizică. Aşadar, prudenţa ne impune să distingem între peisajul unei propuneri pentru o teorie fundamentală, cum ar fi teoria corzilor, şi peisajul parametrilor Modelului Standard.

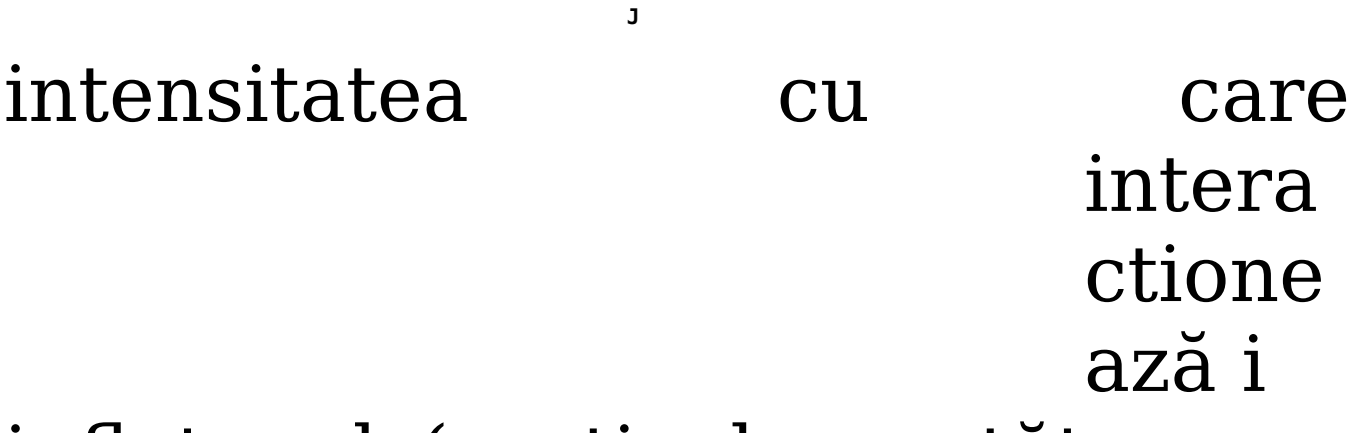
5. Altele sunt (1) o inversare a semnului diferenţei dintre masa neutronului şi cea a protonului; (2) o creştere sau scădere a constantei Fermi sufficient de

mare pentru a influenţa energia şi materia expulzate de supernove; (3) o creştere a diferenţei de masă dintre neutron şi proton, a masei electronului, a masei neutrinului electronic şi a constantei structurii fine, sau o scădere a cuplajului interacţiunii tari, suficient de mari pentru a destabiliza carbonul (sau orice modificare simultană având acelaşi efect); şi (4) o creştere a masei cuarcului „strânge”.

6. James M. Lattimer şi M. Prakash, „What a Two Solar Mass Neutron Star Really Means”, arXiv: 1012.3208vl [astro-ph.SR] (2010).
7. În articolul iniţial despre selecţia naturală cosmologică, precum şi în *The Life of the Cosmos,* am folosit estimarea cea mai mică pentru masa critică – adică 1,6 mase solare. Când am aflat despre descoperirea unei stele neutronice având dublul masei Soarelui, am început să scriu un articol arătând că selecţia naturală cosmologică fusese infirmată. Mă aşteptam la asta,

fiindcă al doilea lucru ca importanţă care se poate întâmpla în domeniul gravitaţiei cuantice este să faci o predicţie care e dezminţită de un experiment. Totuşi, mam mai uitat odată peste estimările teoretice pentru masa critică şi am văzut că experţii avertizaseră că acestea ar permite o stea de neutroni-kaoni cu 2 mase solare.

8. Vezi A.D. Linde, *Partide Physics and Inflationary Cosmology* (Chur, Elveţia: Harwood, 1990), pp. 162-168, mai ales argumentul care duce la ec. 8.3.17. (Cartea este disponibilă şi la arXiv:hep-th/0503203vl.) Parametrul capabil să mărească fluctuaţiile de densitate este



intensitatea cu care interacţionează inflatonul (particula purtătoare a forţei inflaţionare). Aşa cum arată Linde, în unele modele simple, creşterea acestui parametru duce la micşorarea universului cu

exponenţiala inversului rădăcinii pătrate a acelui parametru de interacţiune. Multe mulţumiri lui Paul Steinhardt pentru o conversaţie care a lămurit acest aspect.

9. Pentru mai multe amănunte despre selecţia naturală cosmologică, vezi *The Life of the Cosmos* sau următoarele articole ale mele: „The Fate of Black Hole Singularities and the Parameters of the Standard Models of Particle Physics and Cosmology”, arXiv:gr-qc/9404011vl (1994); „Using Neutrons Stars and Primordial Black Holes to Test Theories of Quantum Gravity”, arXiv: astro-ph/9712189v2 (1998); „Cosmological Natural Selection as the Explanation for the Complexity of the Universe”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 340:4, 705-13 (2004); „Scientific Alternatives to the Anthropic Principle”, arXiv:hep- th/0407213v3 (2004); „The Status of Cosmological

Natural Selection", arXiv:hep-th/0612185vl (2006); şi „A Perspective on the Landscape Problem", contribuţie invitată pentru un număr special din *Foundations of Physics* intitulat „Forty Years Of String Theory: Reflecting On the Foundations", doi: 10.1007/S10701-012- 9652-x arXiv: 1202.3373.

10. Roger Penrose mi-a obiectat că singularităţile găurilor negre au o geometrie foarte diferită de singularitatea cosmologică iniţială, făcând improbabil ca o gaură neagră să fie sursa universului nostru, sau a oricăror altele. Acesta este un motiv de preocupare, dar problema poate fi abordată dacă efectele cuantice au jucat un rol important în eliminarea singularităţii.
11. De remarcat că ideea evoluţiei legilor nu necesită, prin ea însăşi, simultaneitate globală. O modificare a legilor s-ar putea produce într-un eveniment care influenţează doar evenimente din viitorul său cauzal. Aşa cum am

explicat în capitolul 6, ordonarea cauzală e compatibilă cu relativitatea simultaneităţii. Dar pentru a avea sens, selecţia naturală cosmologică necesită un timp global – iar acesta intră într-adevăr în contradicţie cu relativitatea simultaneităţii.

12. Justificarea pentru aceasta este că bulele sunt produse la o scară a fizicii consideră de regulă a fi scara marii unificări, care depăşeşte cu cel puţin 15 ordine de mărime masele cuarcilor şi leptonilor din Modelul Standard. Este aşadar probabil că masele acestor fermioni uşori sfârşesc prin a fi alese într-un mod eminamente aleatoriu atunci când se formează universuri-bulă.
13. B.J. Carr şi M.J. Rees, „The Anthropic Principie and the Structure of the Physical World”, *Nature* 278: 605-12 (1979); John D. Barrow şi Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principie* (New York: Oxford University Press, 1986).

14. Shamit Kachru *et al.,* „De Sitter Vacua in String Theory”, arXiv:hep-th/ 0301240 v2 (2003).
15. Oliver DeWolfe *et al.,* „Type IIA Moduli Stabilization”, arXiv:hep-th/ 0505160v3(2005); Jessie Shelton, Washington Taylor, şi Brian Wecht, „Generalized Flux Vacua”, arXiv:hep- th/0607015 (2006).
16. George F.R. Ellis şi Lee Smolin, „The Weak Anthropic Principle and the Landscape of String Theory”, arXiv:0901.2414vl [hep-th] (2009).
17. Universurile cu constantă cosmologică negativă descrise de Washington Taylor se deosebesc de al nostru în două privinţe. în primul rând, la fel ca în toate teoriile corzilor, sunt implicate dimensiuni suplimentare. Ele nu pot fi observate, pentru că sunt minuscule şi înfăşurate, dar în universurile lui Taylor ele pot să devină mari. Aceasta contrazice observaţiile într- un mod şi mai flagrant decât semnul greşit al

constantei cosmologice şi ar putea fi considerată încă o predicţie greşită a teoriei corzilor. Totuşi, se poate argumenta de asemenea că în lumile acestea viata este imposibilă. De ce, nu-mi este întru totul clar, dat fiind că sunt scenarii ale teoriei corzilor în care particulele şi forţele sălăşuiesc pe suprafeţe tridimensionale numite brane, care plutesc în dimensiuni suplimentare. În acel tip de configuraţie, viaţa ar putea fi compatibilă cu existenţa unor dimensiuni suplimentare mari.

Ipoteticele lumi cu constantă cosmologică negativă au de asemenea o simetrie pe care lumea noastră n-o are, anume supersimetria. Aceasta poate împiedica formarea unor structuri complexe; totuşi, e posibil ca o anumită fracţiune a acestora să permită ruperea spontană a supersimetriei, caz în care viaţa ar putea înflori acolo. Atâta vreme cât sunt infinit mai multe teorii ale corzilor cu constantă

cosmologică negativă decât cele cu constantă cosmologică pozitivă, chiar dacă doar foarte puţine dintre primele pot susţine viaţa, acestea le vor domina pe ultimele. îi mulţumesc lui Ben Freivogel pentru conversaţiile pe această temă.

18. în cel mai bun caz, am putea detecta influenta unor ciocniri din trecut ale altor universuri cu universul nostru. Posibilitatea aceasta a fost studiată, şi ea duce la predicţii unilaterale — anume că sar putea observa ceva interesant care să poată fi interpretat ca o ciocnire a altor universuri cu al nostru, dar dacă nu se observă nimic, cum pare să fie cazul până acum, nici o ipoteză nu e infirmată. Stephen M. Feeney *et al.,* „First Observational Tests of Eternal Inflation: Analysis Methods and WMAP 7-Year Results”, arXiv: 1012.3667v2 [astro- ph.CO] (2011); şi Anthony Aguirre şi Matthew C. Johnson, „A Status Report on the Observability of Cosmic Bubble

Collisions”, arXiv: 0908.4105v2 [hep-th] (2009) şi 2011 *Rept. Prog.* Phys. 74:074901.
19. Steven Weinberg, „Anthropic Bound on the Cosmological Constant”, *Phys. Rev. Lett.* 59:22, 2607-1260 (1987).
20. În unităti ale scării Planck.
21. Adam G. Riess *et al.,* „Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant”, *Astron. Jour.* 116, 1009-1038 (1998).
22. Atunci când evaluăm afirmaţia că argumentul lui Weinberg > oferă dovezi în favoarea existenţei altor universuri, trebuie să ne ferim de raţionamentul eronat potrivit căruia valoarea mică, foarte improbabilă, pe care o ia constanta cosmologică este ea însăşi o dovadă pentru afirmaţia că universul nostru este doar unul dintr-o mulţime vastă de universuri, în fiecare dintre ele valoarea constantei cosmologice fiind aleasă la întâmplare.

Raţionamentul acesta e similar cu cel al erorii inverse a jucătorilor [inverse *gamblers fallacy],* discutată de filozoful Ian Hacking. Să presupunem că o persoană intră într-o cameră şi vede pe cineva că aruncă zarurile şi obţine de două ori şase. Ea ar fi tentată să conchidă că zarurile au fost aruncate de multe ori mai înainte, sau că au fost aruncate simultan în multe locuri, dar acestea ar fi concluzii greşite, fiindcă probabilitatea de a obţine de două ori şase este aceeaşi de fiecare dată. Hacking numeşte aceasta eroarea inversă a jucătorilor; Ian Hacking, „The Inverse Gambler's Fallacy: The Argument from Design. The Anthropic Principie Applied to Wheeler Universes", *Mind* 96:383 (iulie 1987), pp. 331-340, doi: 10.1093/mind/XCVI.383.331. John Leslie a obiectat în *Mind* 97:386 (aprilie 1988), pp. 269-272, doi: 10.1093/mind/XCVII.386.269 că eroarea aceasta nu se aplică

argumentului antropic, fiindcă trebuie să ne găsim într- un univers prielnic vieţii. Dar argumentul lui Weinberg nu se referă la caracterul prielnic, ci doar la posibilitatea ca universul să fie plin de galaxii. Am putea trăi într-un univers în care s-a format o singură galaxie, şi totuşi să fim vii – prin urmare faptul că universul e plin de galaxii nu este necesar pentru viaţă.

23. Jaume Garigga şi Alex Vilenkin au arătat, în „Anthropic Prediction for Lambda and the Q Catastrophe”, arXiv:hep-th/0508005vl (2005), că o anumită combinaţie a celor două constante e mai

eficientă când este aplicată argumentului lui Weinberg: se întâmplă să fie raportul dintre constanta cosmologică şi cubul mărimii fluctuaţiilor. Dar rămân două !

probleme. în primul rând, ce stabileşte mărimea fluctuaţiilor? în al doilea rând, ştiam deja că argumentul funcţionează foarte bine dacă se ia în considerare

numai constanta cosmologică. Există multe combinaţii ale celor două constante care ar putea fi încercate;[3] faptul că o combinaţie este mai eficientă decât altele nu e surprinzător şi, chiar dacă există un argument în acest sens, aceasta nu constituie o dovadă pentru ipoteza că universul nostru este o lume dintr-un multivers vast.

24. Michael L. Graesser, Stephen D.H. Hsu, Alejandro Jenkins şi Mark B. Wise, „Anthropic Distribution for Cosmological Constant and Primordial Density Perturbations”, hep-th/0407174, *Phys.Lett.* B600, 15-21 (2004).

25. O explicaţie pentru valoarea constantei cosmologice foarte diferită de cea a lui Weinberg este oferită de Rafael Sorkin şi colaboratorii săi pe baza teoriei mulţimilor cauzale: Maqbool Ahmed *et al.,* „Everpresent Lambda”, arXiv: astro-

ph/0209274vl (2002).

12. MECANICA CUANTICĂ ŞI ELIBERAREA ATOMULUI

1. Există perspective alternative asupra teoriei cuantice conform cărora ea poate fi aplicată universului. Pentru motivele care mă fac să cred că ele sunt greşite, vezi anexele online.
2. Pentru particulele obişnuite, impulsul este masa lor înmulţită cu viteza. O altă expresie a măsurătorilor incompatibile este principiul de incertitudine, potrivit căruia cu cât măsurăm mai precis poziţia, cu atât eroarea în măsurarea impulsului este mai mare, şi viceversa.
3. Pentru o explicaţie mai tehnică, vezi Lee Smolin, „Precedence and Freedom in Quantum Physics”, arXiv:1205.3707vl [quant-ph] (2012).
4. Charles Sanders Peirce, „A Guess at the Riddle”, în *The Essential Pierce, Selected Philosophical Writings,* ed. Nathan Houser şi Christian Kloesel (Bloomington

IN: Indiana University Press, 1992), p. 277. Scrierile lui Peirce sunt rareori clare, de aceea iată un rezumat din *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (http ://plato. Stanford, edu/entries/p eirce/ #anti):
O cale posibilă de-a lungul căreia natura evoluează şi-şi dobândeşte comportamentele a fost explorată de Peirce folosind analiza statistică în situaţiile unor teste experimentale în care probabilităţile rezultatelor în teste ulterioare nu sunt independente de rezultatele din testele anterioare, aşa- numitele „teste non-bernoulliene”. Peirce a arătat că, dacă postulăm un anumit comportament primordial în natură, şi anume o tendinţă oricât de vagă de a adopta comportamente oricât de mărunte, atunci rezultatul pe termen lung e adesea un grad înalt de regularitate şi o mare precizie macroscopică. Din acest motiv, Peirce a sugerat că în trecutul îndepărtat natura a fost

considerabil mai spontană decât a devenit în prezent, şi că în general şi per ansamblu *toate* comportamentele pe care natura a ajuns să le etaleze au evoluat. La fel ca ideile, formaţiunile geologice sau speciile biologice, şi comportamentul natural a evoluat.

5. John Conway şi Simon Kochen, „The Free Will Theorem”, *Found. Phys.,* 36:10, 1441 (2006).
6. Pentru completitudine, trebuie să menţionez că unii fizicieni răspund la argumentul acesta susţinând o formă puternică de determinism, potrivit căreia observatorii nu sunt liberi să aleagă ce să măsoare. Din punctul acesta de vedere „supradeterminist” ne putem imagina că există corelaţii între alegerile făcute de observatori şi alegerile făcute de atomi, situate departe în trecutul experimentului. Pe baza acestei presupuneri putem nega concluziile teoremelor lui Conway şi Kochen, precum şi teorema lui

Beli.

7. Lucien Hardy, „Quantum Theory from Five Reasonable Axioms”, arXiv:quantph/0101012v4 (2001).
8. Lluis Masanes şi Markus P. Mueller, „A Derivation of Quantum Theory from Physical Requirements”, arXiv: 1004.1483v4 [quant-ph] (2011). Cercetări asemănătoare au fost efectuate de Borivoje Dakic şi Caslav Brukner, „Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?”, arXiv:0911.0695vl [quant-ph] (2009).
9. Markus Muller are în curs de publicare un articol interesant, relevant pentru problema aceasta.

13.BĂTĂLIA DINTRE RELATIVITATE ŞI CUANTE

1. Pentru o discuţie amănunţită a lucrării lui

de Broglie şi o traducere în engleză a articolului său din 1927, vezi Guido Bacciagaluppi şi Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University Press, 2009), disponibil la arXiv:quant-ph/0609184v2 (2009).

2. Vezi John S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy* (New York: Cambridge University Press, 2004).
3. John von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Berlin, Julius Springer Verlag, 1932), pp. 167 ff. sau *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics,* R.T. Beyer, trad. (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996).
4. Grete Hermann, „Die Naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik”, *Abhandlungen der Fries’schen Schule* (1935).

5. David Bohm, *Quantum Theory* (New York: Prentice Hall, 1951).
6. —, „A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables. II", *Phys. Rev,* 85:2, 180-193 (1952).
7. Antony Valentini, „Hidden Variables and the Large-scale Structures of Space- Time", in *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity,* ed. W.L. Craig §i Q. Smith (London: Routledge, 2008), pp. 125-155.
8. Lee Smolin, „Could Quantum Mechanics Be an Approximation to Another Theory?", arXiv:quant-ph/0609109vl (2006).
9. Albert Einstein, „Remarks to the Essays Appearing in This Collective Volume", in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* ed. P.A. Schilpp (New York: Tudor, 1951), p. 671.
10. Pentru o explicaţie mai tehnică, vezi Lee Smolin, „A Real Ensemble Interpretation of Quantum Mechanics", arXiv:1104.2822vl [quant-ph]

(2011).

14. TIMPUL RENĂSCUT DIN RELATIVITATE

1. Fără îndoială, imaginea universului-bloc poate să încorporeze ideea că legile se schimbă în timp, dar afirm că ea nu poate să explice cum şi de ce s-au schimbat.
2. S-ar putea crede că eterul a fost desfiinţat de experimentul Michelson-Morley, dar nimeni înainte de Einstein în 1905 nu a avut intuiţia să recunoască lucrul acesta.
3. Demonstraţia implică geometria elementară, dar nu-l voi plictisi pe cititor. Ea poate fi găsită în orice manual de relativitate generală.
4. Să presupunem că ne mişcăm spre nord în raport cu observatorul acesta special. Vom vedea că radiaţia CMB care se îndreaptă spre noi din direcţia nord e deplasată spre albastru ca o consecinţă a efectului Doppler, care deplasează energia şi temperatura fotonilor ce vin din-

spre nord
către valori mai mari. Fotonii CMB care vin dinspre sud suferă efectul opus: frecvenţele lor sunt deplasate spre roşu, iar temperaturile lor scad. Putem aşadar conchide că ne mişcăm în raport cu fondul cosmic de microunde. Invers, observatorul care vede că temperatura este aceeaşi în toate direcţiile poate trage concluzia că se află în repaus faţă de CMB.

5. în ultimii ani, experimentele au testat valabilitatea principiului relativităţii în condiţii extreme, în care protonii sunt observaţi deplasându-se cu 0,99999 din viteza luminii. La viteza aceasta incredibilă, efectele relativiste sunt atât de importante încât energia pe care o au protonii este de 10 miliarde de ori mai mare decât energia inerentă în masele lor. Nu m-ar fi surprins dacă acele observaţii ar fi dezvăluit un eşec al principiului relativităţii, dat fiind că un asemenea eşec e prezis de unele abordări ale

gravitaţiei cuantice cam la aceste energii. Alte observaţii recente au testat — şi confirmat – principiul că toţi fotonii au aceeaşi viteză, cu o asemenea precizie încât observaţiile ar fi putut să arate dacă un foton l-a depăşit pe altul cu o secundă după ce perechea s-a deplasat împreună timp de 10 miliarde de ani. Aceste rezultate i-au dezamăgit pe teoreticienii care se aşteptau ca efectele gravitaţiei cuantice să altereze viteza luminii cu un factor care depinde de energia fotonului. Un alt set de observaţii a confirmat cu un J
grad înalt de precizie că neutrinii au o limită de viteză egală cu cea a luminii (contrar rapoartelor premature despre neutrini superluminici care au făcut senzaţie în 2011).

6. Au fost propuse şi alte definiţii pentru o noţiune de timp privilegiat în relativitatea generală. Care dintre ele este corectă e o întrebare ştiinţifică la care vor răspunde progresele

ulterioare, sau poate chiar experimentul. Putem presupune aşadar că există o noţiune de timp privilegiat, lăsând deschisă întrebarea care anume. Printre celelalte propuneri menţionez: Chopin Soo şi Hoi-Lai Yu, „General Relativity Without Paradigm of Space-Time Covariance: Sensible Quantum Gravity and Resolution of the Problem of Time”, arXiv: 1201.3164v2 [gr-qc] (2012); Niall O Murchadha, Cho-pin Soo şi Hoi-Lai Yu, „Intrinsic Time Gravity and the Lichnerowicz-York Equation”,
arXiv: 1208. 2525vi[gr-qc](2012); şi George F.R. Ellis şi Rituparno Goswami, „Space Time and the Passage of Time”, arXiv:1208.2611v3 (2012).

7. Henrique Gomes, Sean Gryb şi Tim Koslowski, „Einstein Gravity as a 3D Conformally Invariant Theory”, arXiv:1010.2481v2 [gr-qc] (2011).
8. Din motive tehnice, aceasta se numeşte corespondenţa AdS/CFT.

9. Pentru mai multe informaţii despre dinamica formelor, vezi anexele online.
10. În acest capitol am menţionat deja că unele soluţii simetrice ale relativităţii generale au o stare privilegiată de repaus, deci un timp privilegiat. Asta e altceva. Cazul anterior se limitează la soluţii speciale, pe când timpul privilegiat identificat de dinamica formelor e general şi există chiar şi în spaţii-timp care n-au nici o simetrie. Există o restricţie slabă impusă spaţiului-timp, anume să aibă ceea ce se numeşte „tranşare în felii cu curbură medie constantă” *[constant mean-curvature slicing];* se crede că asta nu împiedică aplicarea teoriei la spaţii-timp cosmologice. Noţiunea aceasta de timp e globală şi e determinată dinamic de câmpul gravitaţional şi de materie. Nu e deci o revenire la timpul absolut al lui
Newton. În general, feliile de spaţiu-timp alese sunt minimal curbate. Feliile în care este

divizat spaţiul-timp îşi pot minimiza curbura în acelaşi sens în care baloanele de săpun iau forme care le minimizează curbura.

15. EMERGENTA SPAŢIULUI

1. Arhitecţii, Saucier + Perrotte, au sugerat, atunci când le-am spus de cât spaţiu aveam nevoie pentru table, că clădirea ar putea fi acoperită în întregime cu ardezie şi sticlă, aşa încât să putem scrie peste tot.
2. Pentru o recenzie recentă, vezi J. Ambjorn *et al.,* „Nonperturbative Quantum Gravity”, arXiv: 1203.3591vl [hep-ph] (2012); „Emergence of a 4-D world from Causal Quantum Gravity”, *Phys. Rev. Lett.* 93 (2004) 131301 [hep-th/0404156].
3. Fotini Markopoulou, „Space Does Not Exist, So Time Can”, arXiv: 0909.186lvl [grqc] (2009).
4. Tomasz Konopka, Fotini Markopoulouşi Lee Smolin, „Quantum Graphity”, arXiv:hep-th/0611197vl (2006); Tomasz

Konopka, Fotini Markopoulou şi Simone Severini, „Quantum Graphity: A Model of Emergent Locality”, arXiv: 0801.086 lv2 (2008); Alioscia Hamma *et al.,* „A Quantum Bose-Hubbard Model with Evolving Graph as Toy Model for Emergent Spacetime”, arXiv:0911.5075v3 [gr-qc] (2010).

5. Petr Horava, „Quantum Gravity at a Lifshitz Point”, arXiv:0901.3775v2 [hepth] (2009).
6. T. Banks *et al.,* „M Theory as a Matrix Model: A Conjecture”, arXiv: hep- th/9610043v3 (1997).
7. Specialiştii ar putea să atragă atenţia că volumul şi aria nu sunt observabile fizice, deoarece nu sunt invariante la difeomorfisme ale spaţiului-timp. Dar în unele cazuri ele sunt fizice, fiindcă sunt proprietăţi ale unei graniţe unde difeomorfismele sunt fixate, sau fiindcă a fost fixată o etalonare a timpului, dând naştere unei descrieri fizice a evoluţiei generată de un hamiltonian.
8. Vezi, de exemplu, Aurelien Barrau

et al., „Probing Loop Quantum Gravity with Evaporating Black Holes”, arXiv: U09.4239v2 (2011).

9. În care timp? Orice definiţie a timpului! În gravitaţia cuantică cu bucle timpul e arbitrar, întrucât ea este o cuantificare a relativităţii generale în care timpul poate fi ales în mod arbitrar, reflectând natura sa multiformă.
10. în abordarea iniţială a gravitaţiei cuantice cu bucle, se consideră că graful e conţinut într-un spaţiu tridimensional şi are doar cele mai simple proprietăţi. Nimic care poate fi măsurat – de pildă lungimea, aria sau volumul — nu e fixat. Dar numărul dimensiunilor spaţiale este fixat, la fel şi conexiunea spaţiului, sau topologia lui. (Prin „topologie” înţelegem modul general cum e alcătuit; ea nu se schimbă dacă forma e distorsionată fără tăieturi.) Topologia poate fi cel mai bine explicată prin exemple şi e cel

mai uşor de vizualizat în două dimensiuni. Să considerăm o suprafaţă bidimensională închisă. Poate fi asemănătoare unei sfere sau unui tor (o formă de covrig). O sferă poate fi deformată în mod continuu în diverse forme, dar nu poate fi distorsionată fără tăieturi într-un tor. Alte topologii ale unor suprafeţe bidimensionale pot semăna cu nişte covrigi cu multe găuri.

Odată ce am fixat topologia spaţiului, putem considera diversele moduri în care un graf poate fi inserat în el. De exemplu, muchiile grafului pot fi înnodate, împletite sau legate altfel între ele. Fiecare mod de a insera graful în spaţiu produce o stare cuantică distinctă a geometriei (dar în majoritatea articolelor actuale din gravitaţia cuantică grafurile sunt definite fără referire la vreo inserare).

11. Vezi, de exemplu, Muxin Han şi Mingyi Zhang, „Asymptotics of Spinfoam

Amplitude on Simplicial Manifold: Lorentzian Theory", arXiv:1109.0499v2 (2011); Elena Magliaro şi Claudio Perini, „Emergence of Gravity from Spinfoams", arXiv:1108.2258vl (2011); Eugenio Bianchi şi You Ding, „Lorentzian Spinfoam Propagator", arXiv:1109. 6538v2 [gr-qc] (2011); John W. Barrett, Richard J. Dowdall, Winston J. Fairbairn, Frank Hellmann, Roberto Pereira, „Lorentzian Spin Foam Amplitudes: Graphical Calculus and Asymptotics", arXiv:0907. 2440; Florian Conrady şi Laurent Freidel, „On the Semiclassical Limit of 4d Spin Foam Models", arXiv:0809.2280vl [gr-qc] (2008); Lee Smolin, „General Relativity as the Equation of State of Spin Foam", arXiv:1205. 5529vl [gr-qc] (2012).

12. În limbaj tehnic, dualul unei triangulaţii a unei varietăţi tridimensionale.

13. Vezi Fotini Markopoulou şi Lee Smolin, „Disordered Locality in Loop Quantum Gravity States”, arXiv:gr-qc/0702044v2 (2007).
14. Ideea aceasta defineşte un program de cercetare la care am lucrat, cu intermitenţe, timp de mai mulţi ani. Vezi Markopoulou şi Smolin, „Quantum Theory from Quantum Gravity”, arXiv:grqc/0311059v2 (2004). Vezi de asemenea: Julian Barbour şi Lee Smolin, „Extremal Variety as the Foundation of a Cosmological Quantum Theory”, arXiv:hep-th/9203041vl (1992); Lee Smolin, „Matrix Models as Nonlocal Hidden Variables Theories”, arXiv:hepth/0201031vl (2002);
—, „Quantum Fluctuations and Inertia”, *Phys. Lett. A,* 113:8, 408-412 (1986);
—, „On the Nature of Quantum Fluctuations and Their Relation to Gravitation and the Principle of Inertia”, *Class. Quant. Grav.* 3:

347-359 (1986);
—, „Stochastic Mechanics, Hidden
Variables, and Gravity”, în *Quantum*
Concepts in Space and Time, ed. R. Penrose şi C.J. Isham (New York: Oxford University Press, 1986);
—, „Derivation of Quantum Mechanics from a Deterministic Nonlocal Hidden Variable Theory. 1. The Two-Dimensional Theory”, IAS preprint, iulie 1983. http://inspirehep.net/record/1919 36.
15. Chanda Prescod-Weinstein şi Lee Smolin, „Disordered Locality as an Explanation for the Dark Energy”, arXiv:0903.5303v3 [hep-th] (2009).
16. Materia întunecată este un tip ipotetic de materie care nu emite deloc lumină, dar e necesară pentru a explica rotaţia galaxiilor pe baza legilor lui Newton.
17. Lee Smolin, „Fermions and Topology”, arXiv:gr-qc/9404010vl (1994).

18. C.W. Misner şi J.A. Wheeler, *Ann. Phys. (U.S.A.)* 2, 525-603 (1957), retipărit în *Wheeler Geometrodynamics* (New York: Academic Press, 1962).
19. Fotini Markopoulou, „Conserved Quantities in Background Independent Theories”, arXiv:gr-qc/0703027vl (2007).
20. Francesco Caravelli şi Fotini Markopoulou, „Disordered Locality and Lorentz Dispersion Relations: An Explicit Model of Quantum Foam”, arXiv:1201.3206v3 (2012); Caravelli şi Markopoulou, „Properties of Quantum Graphity at Low Temperature”, arXiv:1008.1340v3 (2011); Caravelli *et al.,* „Trapped Surfaces and Emergent Curved Space in the Bose-Hubbard Model”, arXiv:1108.2013v3 (2011);
Florian Conrady, „Space as a Low- temperature Regime of Graphs”, arXiv:1009.3195v3 [grqc] (2011). O altă abordare a

geometro genezei se găseşte în Joao Magueijo, Lee Smolin şi Carlo R. Contaldi, „Holography and the ScaleInvariance of Density Fluctuations”, arXiv:astro-ph/0611695v3 (2006).

21. Graf urile şi triangulaţiile sunt strâns înrudite. Dată fiind o triangulaţie, se poate forma un graf în care nodurile reprezintă tetraedrele, iar două noduri sunt conectate printr-o muchie dacă tetraedrele corespunzătoare au o faţă comună.
22. Figura arată un univers cuantic cu o dimensiune spaţială şi una temporală, preluată din R. Loll, J. Ambjorn, K.N. Anagnostopoulos, „Making the Gravitational Path Integral More Lorentzian, or: Life Beyond Liouville Gravity”, arXiv:hepth/9910232, *Nucl.Phys.Proc.Suppl.* 88, 241-244 (2000). Folosit cu permisiune.

23. Alioscia Hamma *et al.,* „Lieb-Robinson Bounds and the Speed of Light from Topological Order”, arXiv:0808.2495v2 (2008).

16. VIAŢA ŞI MOARTEA UNIVERSULUI

1. Richard Dawkins, *Climbing Mount Improbable* (New York: W.W. Norton, 1996).
2. Fluctuaţie este unul dintre acele cuvinte folosite de fizicieni care-i pot deruta pe profani. O fluctuaţie e o mică schimbare aleatorie într-o mică parte a unui sistem. O fluctuaţie poate dezordona un sistem, ca atunci când o picătură de vopsea de pe pensulă ruinează un portret pictat cu migală. Dar o fluctuaţie poate duce de asemenea la un grad mai înalt de organizare, ca atunci când o mutaţie rezultată dintr-o schimbare aleatorie într-o moleculă de ADN produce un animal mai bine adaptat.
3. E interesant de observat că molecule organice (sau prebiotice) au fost detectate nu

doar pe Pământ, ci şi în meteoriţi, comete şi nori interstelari de praf şi gaz.

4. Deoarece logaritmul lui 1 este 0. Din motive tehnice, de regulă definim entropia ca logaritmul numărului de microstări echivalente.
5. „Uber die von der molekularkinetischen Theorie der Warme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen”, *Ann. der Phys.* 17(8): 549-560(1905).
6. Martin J. Klein, *Paul Ehrenfest: The Making of a Theoretical Physicist* (New York: Elsevier, 1970).
7. Vezi, de exemplu, *Time ’s Arrow,* de Martin Amis, sau *The Curious Case of Benjamin Button,* un film bazat pe o povestire a lui F. Scott Fitzgerald.
8. Multe mulţumiri lui Steven Weinstein de

la Universitatea Waterloo pentru discuţiile în care m-a convins de importanţa săgeţii

electromagnetice a timpului. Articolul său din 2011, „Electromagnetism and Time-Asymmetry”, arXiv.T004.1346v2, a influenţat puternic secţiunea următoare.

9. Roger Penrose, „Singularities and Time- Asymmetry”, în S.W. Hawking şi W. Israel, ed., *General Relativity: An Einstein Centenary Survey* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1979), pp. 581-638.
10. Mulţi fizicieni şi filozofi s-au întrebat dacă există într-adevăr mai multe săgeţi ale timpului distincte. S-ar putea ca una sau mai multe săgeţi să fie explicate cu ajutorul celorlalte? Săgeata cosmologică a timpului probabil că nu e înrudită cu celelalte. Este uşor să ne imaginăm un univers care s-a extins atât de rapid încât nici o structură legată gravitaţional n-a avut timp să se formeze. Un astfel de univers ar rămâne veşnic în echilibru, şi ca atare nu ar avea o săgeată termodinamică a timpului. Aşadar

faptul că universul e în expansiune nu este, de unul singur, suficient pentru a explica săgeata termodinamică a timpului.
Este de asemenea posibil să ne imaginăm un univers care se extinde până la dimensiunea sa maximă, după care colapsează. Din câte ştim acum, nu trăim într-un asemenea univers, dar există soluţii ale ecuaţiilor relativităţii generale care se comportă în felul acesta. Ar fi o lume în care săgeata cosmologică a timpului se inversează la jumătatea drumului. S-ar inversa atunci şi săgeata termodinamică a timpului, încât pe neaşteptate laptele vărsat să revină în pahar şi Humpty-Dumpty— să se reasambleze singur? Scriitorilor de science-fiction le place să-şi imagineze aşa ceva, dar e extrem de neplauzibil.
în schimb, e posibil ca săgeata biologică a timpului să fie o consecinţă a săgeţii termodinamice. îmbătrânim, se

afirmă, fiindcă dezordinea se acumulează în celulele noastre. Se recurge de asemenea la săgeata termodinamică pentru a explica cel puţin în parte săgeata existenţială. Ne amintim trecutul, şi nu viitorul fiindcă memoria este o formă de organizare, iar organizarea scade în viitor – sau cel puţin aşa se afirmă.

în sfârşit, poate fi redusă săgeata termodinamică a timpului la alegerea condiţiilor iniţiale? Aceasta a fost propunerea lui Penrose, care a arătat că ipoteza lui despre curbura Weyl ar putea explica săgeata termodinamică a timpului deoarece un univers care iniţial nu conţine

>)

găuri negre sau albe are o entropie mult mai scăzută decât dacă ar fi umplut în mod aleatoriu cu astfel de obiecte. El se bazează aici pe ideea că găurile negre au entropie, un fapt uimitor descoperit de Jacob Bekenstein în 1972 şi dezvoltat de Stephen Hawking curând după aceea.

Găurile negre au cantităţi enorme de entropie, fiindcă cel mai ireversibil lucru pe care-l poţi face e să arunci ceva într-o gaură neagră. Luând în considerare imensa cantitate de entropie din toate găurile negre care ar fi putut să existe la începutul universului, dar nu au existat, universul actual, fără găuri negre iniţiale, a pornit dintr-o stare cu entropie aproape minimă.
Propunerea lui Penrose are succes atâta vreme cât menţinem condiţia ca universul să se extindă suficient de lent şi de uniform încât să se poată forma structuri legate gravitaţional. Din această perspectivă, un univers complex e extrem de improbabil, deoarece majoritatea condiţiilor iniţiale ar duce la un univers care a pornit şi a rămas în echilibru. El ar fi plin cu lumină şi unde gravitaţionale prezente dintru început şi care nu poartă imagini ale trecutului sau viitorului. Găurile negre şi găurile albe ar domina de la bun început. într-o lume guvernată de legi cu

simetrie temporală, explicaţia de ce trăim într-un univers complex se bazează în mare măsură pe alegerea extrem de improbabilă a unor condiţii iniţiale asimetrice în raport cu timpul.

11. Legea fundamentală asimetrică în raport cu timpul ar trebui să conducă la legi cu simetrie temporală atunci când e aproximată de o teorie efectivă la energii joase şi departe de regiunile unde curbura spaţiului-timp e mare. Asimetria temporală ar fi deci foarte pronunţată în universul foarte timpuriu, ceea ce ar explica nevoia unor condiţii cosmologice iniţiale extrem de asimetrice în timp.
12. De reţinut că vorbim despre proprietăţi ale întregului univers, care nu sunt şi proprietăţile unor mici subsisteme ale sale. Putem întotdeauna aplica teoria probabilităţilor unor mici subsisteme sau regiuni ale universului, dar acestea nu epuizează tot ce vrem să ştim despre univers.

13. Bineînţeles, dacă timpul este infinit, fluctuaţii de orice mărime se întâmplă de o infinitate de ori. Aceasta face ca afirmaţia că fluctuaţiile mai rare se întâmplă de mai puţine ori să fie înşelătoare, deoarece raportul a două mărimi infinite e nedefinit.

17. TIMPUL RENĂSCUT DIN CĂLDURĂ ŞI LUMINĂ

1. Cititorul s-ar putea întreba dacă principiul lui Leibniz al identităţii indiscernabilelor contrazice statistica Bose, care permite şi încurajează bozonii să împartă aceeaşi stare cuantică. Un răspuns scurt, expus mai pe larg în anexele online, este că principiul lui Leibniz interzice ca două evenimente să aibă aceleaşi valori probabile ale câmpurilor cuantice.
2. Aşa cum am subliniat în capitolul 10, aceasta interzice ca universul să fie perfect simetric.
3. Pentru mai multe amănunte despre auto- organizare, vezi cărţile lui Bak, Kauffman şi

Morowitz din bibliografie. O versiune a principiului auto-organizării induse este teorema ciclului descrisă în cartea lui Morowtiz, o alta este fenomenul stării critice auto-organizate *[self-organized criticality]* prezentat în cartea lui Bak.

4. Julián Barbour şi Lee Smolin, „Variety, Complexity and Cosmology”, hep- th/9203041.
5. Alan Turing, „The Chemical Basis of Morphogenesis”, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* 237:641, 37-72 (1952).

18. SPAŢIU INFINIT, SAU TIMP INFINIT?

1. E un lucru uimitor, dar există o explicaţie simplă. Pentru detalii, vezi cea mai recentă carte a lui Brian Greene, *The Hidden Realiţy: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (New York: Knopf, 2011), sau o discuţie în anexele online.
2. Să ne imaginăm un plan bidimensional. Să alegem un punct, apoi o direcţie din acel

punct. Aceasta defineşte o dreaptă în plan. Să urmărim până unde merge dreapta. Ea merge o distanţă infinită, dar în ochiul minţii unui matematician ea merge totuşi undeva. Locul unde merge se numeşte *punctul de la infinit.* Să alegem o altă direcţie din acelaşi punct iniţial. Obţinem o altă dreaptă. S-o urmăm până unde merge; ea ne duce la un alt punct de la infinit. Punctele de la infinit formează un cerc. Direcţiile în care poţi merge pornind dintr-un punct în plan definesc un cerc. Urmând acele direcţii până unde duc ele, ajungem la graniţa punctelor de la infinit. Acelaşi lucru se obţine într-un spaţiu tridimensional plat, atâta doar că punctele de la infinit formează o sferă. La fel şi dacă spaţiul e infinit, dar are o curbură negativă, arătând ca o şa.

Dacă vrem să rezolvăm ecuaţiile

>

relativităţii generale, trebuie să dăm informaţii despre ce se întâmplă la acea graniţă. Trebuie

să precizăm ce intră şi ce iese prin ea. Informaţiile despre ce se petrece la graniţa de la infinit nu sunt opţionale; ele sunt cerute de teorie. (Pentru specialişti, ecuaţiile lui Einstein pentru un univers infinit în spaţiu nu pot fi deduse dintr-un principiu variaţional dacă acţiunii nu i se adaugă termeni pe graniţă şi nu se precizează condiţii pe graniţa de la infinit în spaţiu.) Nu putem descrie ce este în univers fără să spunem ce intră şi ce iese din el prin graniţă. Chiar dacă graniţa este infinit de departe.

3. În practica relativităţii generale, folosim adesea spaţii cu graniţe la infinit ca modele convenabile pentru sisteme izolate. Să considerăm o galaxie. în realitate, ea este o mică parte a universului, dar pentru unele scopuri o putem considera izolată; de exemplu, pentru a modela interacţiunea găurii negre din centrul galaxiei cu stelele din discul galactic. Trasăm aşadar o graniţă în jurul galaxiei şi

construim o soluţie a relativităţii generale care conţine numai ce este în interiorul acelei graniţe. Dar există unele dificultăţi tehnice în privinţa informaţiei care trebuie precizată pe o graniţă finită. De aceea, din motive care ţin doar de comoditatea tehnică, idealizăm situaţia şi împingem graniţa la infinit. Aceasta simplifică mult descrierea, deoarece putem impune condiţia ca toată materia din model să fie conţinută în acea unică galaxie. Nimic nu poate intra sau ieşi, cu excepţia undelor gravitaţionale şi a luminii, de care ne putem folosi pentru a observa galaxia.

Genul acesta de utilizare a spaţiilor infinite este pragmatic şi nu i se poate aduce nici o obiecţie. Faptul că trebuie să specificăm o informaţie care intră prin graniţa de la infinit ne aminteşte că avem de-a face cu o idealizare în care decupăm o parte a universului şi o descriem ca şi cum ar fi tot ce există. Dar e

absurd să modelăm întregul univers de parcă ar avea o graniţă exterioară, care necesită specificarea unor informaţii provenind din exteriorul universului infinit. Şi totuşi asta trebuie să facem dacă folosim relativitatea generală drept teorie cosmologică şi considerăm că universul este infinit în spaţiu.

4. Pentru mai multe detalii despre aceste cosmologii ciclice, vezi Paul J. Steinhardt şi Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).
5. Martin Bojowald, „Isotropic Loop Quantum Cosmology”, arXiv:gr-qc/ 0202077vl (2002);
—, „Inflation from Quantum Geometry”, arXiv: gr-qc/0206054vi (2002);
—, „The Semiclassical Limit of Loop Quantum Cosmology”, arXiv: gr- qc/0105113vl (2001);
—, „Dynamical Initial Conditions in Quantum Cosmology”, arXiv: gr- qc/0104072vl (2001); şi Shinji Tsujikawa, Parampreet Singh şi

Roy Maartens, „Loop Quantum Gravity Effects on Inflation and the CMB”, arXiv:astro-ph/0311015v3 (2004).
6. Jean-Luc Lehners, „Diversity in the Phoenix Universe”, arXiv: 1107. 4551vl [hep-ph] (2011).
7. Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).
8. Afirmaţii că au fost detectate cercuri se găsesc în:
V.G. Gurzadyan şi R. Penrose, „CCC- Predicted Low-Variance Circles in CMB Sky and LCDM”, arXiv:1104.5675vl [astro-ph.CO] (2011);
—, „More on the Low-Variance Circles in CMB Sky”, arXiv:1012. 1486vl [astro- ph.CO] (2010);
—, „Concentric Circles in WMAP Data May Provide Evidence of Violent PreBig-Bang Activity”, arXiv:1011.3706vl [astro-ph.CO] (2010).
O serie de articole susţin că acesta e compatibilă cu zgomotul:
I. K. Wehus şi H.K.

Eriksen, „A Search for Concentric Circles in the 7-Year WMAP Temperature Sky Maps”, arXiv:1012.1268vl [astro-ph. CO] (2010); Adam Moss, Douglas Scott, şi James P. Zibin, „No Evidence for Anomalously Lowvariance Circles on the Sky”, arXiv:1012.1305v3 [astro-ph.CO] (2011); şi Amir Hajian, „Are There Echoes from the Pre-Big Bang Universe? A Search for Low-Variance Circles in the CMB Sky”, arXiv:1012.1656vl (2010).

19. VIITORUL TIMPULUI

1. Ideea aceasta e înfăptuită într-un model în Lee Smolin, „Matrix Universality of Gauge and Gravitational Dynamics”, arXiv:0803.2926v2 [hep-th] (2008).
2. —, „Unification of the State with the Dynamical Law”, arXiv:1201. 2632vl [hep-th] (2012).
3. Wheeler a spus de asemenea: „Nici un fenomen nu este un fenomen real până când nu e un fenomen observat.” Trebuie să

spun că pe măsură ce mă maturizez apreciez din ce în ce mai mult afirmaţiile sale enigmatice şi provocatoare.

EPILOG

1. Pentru mai multe informaţii despre concepţia expusă aici, vezi Lee Smolin, „Time and Symmetry in Models of Economic Markets”, arXiv:0902.4274vl [q-fin.GN] (2009).
2. Pentru o introducere în economia neoclasică, vezi Ross M. Starr, *General Equilibrium Theory,* ed. a II-a (New York: Cambridge University Press, 2011).
3. Aceasta reiese din teorema Sonnenschein- Mantel-Debreu, sau „teorema *anything goes”,* demonstrată în 1972 de trei economişti foarte influenţi. Unul dintre ei este Hugo Sonnenschein, care nu e doar membru al şcolii de economie din Chicago, dar a fost şi preşedintele acelei universităţi. Hugo Sonnenschein, „Market Excess Demand Functions”,

Econometrica, 40:3, 549-563 (1972). Debreu, G., „Excess Demand Functions”, *Journal of Mathematical Economics* 1: 15-21 (1974), doi: 10.1016/0304-4068(74)90032-9; R. Mantel, „On the Characterization of Aggregate Excess Demand”, *Jour, of Econ. Theory* 7: 348353 (1974), doi:10.1016/0022-0531(74)90100-8.

. W. Brian Arthur, „Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-În by Historical Events”, *Econ. Jour.* 99:394, 116-131 (1989).

. Pia Malaney, „The Index Number Problem: A Differential Geometric Approach”, Teză de doctorat la Harvard, 1996.

. Ideile lui Malaney şi Weinstein l-au îndemnat pe Samuel Vazquez, pe atunci cercetător postdoctoral la Institutul Perimeter, să măsoare dependenţa de drum în date despre piaţa reală. Ce a făcut el era imposibil şi eretic în cadrul teoriei economice neoclasice, şi totuşi din datele reale reieşea că

existenţa unor fonduri cu strategii de arbitraj pe termen lung sau scurt care au avut succes dovedeşte că piaţa are într-adevăr curbură, şi deci dependenţă de drum. Samuel E. Vazquez şi Simone Farinelli, „Gauge Invariance, Geometry and Arbitrage”, arXiv:0908.3043vl [q-fin.PR] (2009).

7. Vince Darley şi Alexander V. Outkin, *A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems* (World Scientific, 2007).
8. Eu văd începuturile acestei concepţii comune în faptul că biologul teoretician Stuart Kauffman şi filozoful juridic Roberto Mangabeira Unger vorbesc amândoi despre necesitatea de a fomula domeniile lor în termenii posibilului adiacent – următorul set de paşi — mai degrabă decât în spaţiile atemporale abstracte ale tuturor configuraţiilor posibile.
9. Implicaţiile acestor două principii

sunt dezvoltate în continuare în capitolul 17 al cărţii mele din 2006 *The Trouble with Physics.*

10. De remarcat că relaţiile sunt exact ceea ce exprimă matematica[3]. Numerele nu au o esenţă intrinsecă, nici punctele din spaţiu; ele sunt definite în întregime prin locul lor într-un sistem de numere sau de puncte – toate proprietăţile acestora fiind legate de relaţiile lor cu alte numere sau puncte. Aceste relaţii sunt determinate de axiomele care definesc un sistem matematic. Dacă materia nu se reduce la relaţii şi interacţiuni, ce este în plus depăşeşte domeniul matematicii.

11. James George este autorul cărţilor *Asking for the Earth* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2002) şi *The Little Green Book on Awakening* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2009). El este de asemenea cofondator al Threshold Foundation şi preşedinte al Sadat

Peace Foundation, şi a condus misiunea internaţională în Kuwait [3] pentru evaluarea daunelor în urma Războiului din Golful Persic.

24. Personaj fictiv, un ou mare cu trăsături umane, din romanul pentru copii *Through the Looking-Glass* (1871) al scriitorului şi matematicianului englez Lewis Carroll (1832— 1898) (n. tr.).

Bibliografie

Iată o selecţie de cărţi, majoritatea de popularizare, pe tema timpului în fizică sau cosmologie (şi subiecte înrudite), multe dintre ele prezentând idei alternative sau în contradicţie cu cele propuse de mine în aceste pagini.

Guido Bacciagaluppi şi Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University

Press, 2009).
Per Bak, *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality* (New York: Copernicus, 1996).
Julian B. Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics* (New York: Oxford University Press, 2000).
—, *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories* (New York: Oxford University Press, 2001).
J.S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics,* ed. a Il-a (New York: Cambridge University Press, 2004).
James Robert Brown, *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge* (Oxford, U.K.: Routledge, 2011).
Bernard Carr, ed., *Universe or Multiverse?* (New York: Cambridge University Press, 2007).
Sean Carroll, *From Eternity to*

Here: The Quest for the Ultimate Arrow of Time (New York: Dutton, 2010).

P.C.W. Davies, *The Physics of Time Asymmetry* (San Francisco: University of California Press, 1974).

David Deutsch, *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes — and Its Implications* (New York: Allen Lane/Penguin Press, 1997).

Dan Falk, *În Search of Time: The History, Physics and Philosophy of Time* (New York: St. Martin's, 2010).

Adam Frank, *About Time: Cosmology and Culture at the Twilight of the Big Bang* (New York: Free Press, 2011).

Rodolfo Gambini §i Jorge Pullin, *A First Course in Loop Quantum Gravity* (New York: Oxford University Press, 2011).

Marcelo Gleiser, A *Tear at the Edge of Creation: A Radical New Vision for Life in an Imperfect Universe* (New York: Free Press, 2010).

Brian Greene, *The Hidden Reality:*

Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos (New York: Knopf, 2011) *[Realitatea ascunsa:*

Universurile paralele §i legile profunde ale cosmosului, trad, de Amalia Mara§escu, Ed. Paralela 45, 2012].

Stephen W. Hawking §i Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (New York: Bantam, 2010) *[Marele plan,* trad, de Anca Vi§inescu §i Mihai Vi§inescu, Ed. Humanitas 2012].

Stuart A. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of SelfOrganization and Complexity* (New York: Oxford University Press, 1995).

—, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution* (New York: Oxford University Press, 1993).

Helge Kragh, *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology* (New York: Oxford University Press, 2011).

Janna Levin, *How the Universe Got Its Spots: Diary of a Finite Time in a Finite Space* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002).

Joao Magueijo, *Faster than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation* (Cambridge, MA: Perseus, 2003).

Roberto Mangabeira Unger, *The Self Awakened: Pragmatism Unbound* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007).

Harold Morowitz, *Energy Flow in Biology,* (New York: Academic Press, 1968).

Richard Panek, *The 4-Percent Universe: Dark Matter, Dark Energy, and the Race to Discover the Rest of Reality* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2011).

Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).

—, *The Road to Reality:* A *Complete Guide to the Laws of the Universe* (New York: Knopf, 2005).

—, *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics* (New York: Oxford University Press, 1989) *[Mintea noastră cea de toate zilele: Despre gândire, fizică şi calculatoare,* trad, de Cornelia C. Rusu şi Mircea V. Rusu, Ed. Tehnică, Bucureşti, 2001].

Huw Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time* (New York: Oxford University Press, 1996).

Lisa Randall, *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions* (New York: Ecco/HarperCollins, 2005).

Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA: Westholme Publishing, 2011).

Simon Saunders *et al.,* ed., *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality* (New York: Oxford University Press, 2010).

Lee Smolin, *The Life of the Cosmos* (New York: Oxford University Press, 1997).
—, *Three Roads to Quantum Gravity* (New York: Basic Books, 2001) *[Spaţiu, timp, univers: Trei drumuri către gravitaţia cuantică,* trad, de Anca Vişinescu, Humanitás, 2006].
—, *The Trouble with Physics* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2006).
Paul J. Steinhardt şi Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).
Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005) *[Peisajul cosmic; Teoria corzilor şi iluzia unui plan inteligent,* trad, de Irinel Caprini, Humanitas, Bucureşti, 2012].
Alex Vilenkin, *Many Worlds in One: The Search for Other Universes* (New York: Hill & Wang, 2006).

Mulţumiri

Scrierea acestei cărţi a fost o mare aventură, ea reflectând interesul meu de-o viaţă pentru natura timpului. Asemenea oricărui călător, datorez enorm multor oameni care m-au ajutat, încurajat, călăuzit, şi uneori condus în călătoria aceasta.

Aventura a început în vara anului 1980, pe când studiam la Oxford ca invitat al lui Roger Penrose. Roger mi-a spus că dacă mă preocupa într-adevăr natura timpului trebuia să discut cu un cercetător pe nume Julian Barbour, care locuia şi lucra într-un orăşel din apropiere de Oxford. Aranjamentele au fost făcute şi împreună cu filozoful ştiinţei Amelia Rechel-Cohn l-am vizitat. în decursul acelor discuţii, Julian a început să mă iniţieze într-ale filozofiei, prezentându-mi scrierile lui Leibniz şi ideile de

spaţiu şi timp relaţional. Am fost printre primii, dar nici pe departe ultimul tânăr fizician căruia îndrumarea lui Julian i-a lărgit orizontul şi i-a orientat gândirea în direcţia corectă.

Călătoria a luat o turnură neaşteptată în 1986, când Andrew Strominger mi-a vorbit despre descoperirea de către el a unui număr enorm de teorii ale corzilor şi despre îngrijorarea lui că abundenţa aceasta va zădărnici orice încercare de a deduce Modelul Standard al fizicii particulelor din principii pure. Meditând la asta, mi-am imaginat un peisaj al teoriei corzilor similar cu peisajul adaptiv din biologie, în care evoluţia legilor ar fi guvernată de un mecanism analog selecţiei naturale, încurajat, scurt timp înainte de moartea ei prematură, de draga mea prietenă medicul şi dramaturgul Laura Kuckes, am elaborat ideea selecţiei naturale cosmologice, pe care am publicat-o în 1992 şi am prezentat-o în prima mea carte, *The Life ofthe Cosmos.*

în timp ce terminam lucrul la acea carte, o altă prietenă, Drucilla Corneli, mi-a spus să-l citesc pe filozoful brazilian Roberto Mangabeira Unger, care într-o carte despre teoria socială a pledat de asemenea pentru evoluţia legilor în cosmologie. Ea ne-a pus în legătură, iar după o conversaţie captivantă în biroul lui de la Harvard, mi-a propus să colaborăm la o carte riguros academică despre implicaţiile realităţii timpului şi ale evoluţiei legilor. Acel proiect, în desfăşurare în ultimii cinci ani, a fost principalul stimulent şi vehicul pentru dezvoltarea ideilor din cartea de fată. Mulţumită în primul rând gândirii clare şi stimulative a lui Roberto, am ajuns în cele din urmă să apreciez radicalismul propunerii că timpul este real. Ideea centrală a epilogului – că un viitor deschis trebuie să îndemne oamenii să caute soluţii noi pentru problemele la toate dimensiunile – a fost inspirată în mare măsură de scrierile sale. Cititorilor care doresc o formulare mai riguroasă a

argumentelor schiţate le sugerez cartea în curs de apariţie, intitulată provizoriu *The Singular Universe and the Reality ofTime.—*

Tot în 1986, am început să lucrez la cuantificarea noii formulări a relativităţii generale inventată în anul precedent de Abhay Ashtekar. Aceasta a dus la descoperirea gravitaţiei cuantice cu bucle, pe care am înfăptuit-o în colaborare cu Carlo Rovelli. Activitatea noastră a fost stimulată şi elaborată prin discuţiile constante despre natura timpului cu Abhay şi Carlo, precum şi cu Louis Crane, Ted Jacobson, Chris Isham, Laurent Freidel, Joao Magueijo, Fotini Markopoulou, Giovanni Amelino-Camelia, Jerzy Kowalski-Glikman şi Renate Loll, între mulţi alţii. Am ajuns mai târziu decât unii prieteni de-ai mei la ideea că relativitatea simultaneităţii va trebui abandonată la scară cosmologică. Antony Valentini a înţeles cu mulţi ani în urmă că acesta era preţul plătit pentru adoptarea unei teorii cu variabile ascunse, iar Joao Magueijo era deja

pornit să încalce relativitatea când ne-am întâlnit la Londra în 1999. Fotini Markopoulou a fost prima care a subliniat importanţa problemei inverse şi a pledat convingător pentru o abordare a gravitaţiei cuantice în care timpul este fundamental şi spaţiul este emergent, iar principalele idei din capitolul 15, între care violarea caracterului local şi geometrogeneza, i se datorează.

Deşi sunt fizician, am avut şansa să fiu un oaspete frecvent în casa filozofiei ştiinţei, unde mi-am făcut mulţi prieteni care, de-a lungul anilor, au ascultat cu răbdare şi au citit cu ochi critic încercările mele de a gândi clar despre natura timpului. Printre aceştia se numără Simon Saunders, Steve Weinstein, Harvey Brown, Patricia Marino, Jim Brown, Jenan Ismael, Cheryl Misak, Ian Hacking, Joseph Berkovitz şi Jeremy Butterfield, precum şi primul meu profesor de filozofie a fizicii, Abner Shimony. Julian Barbour, Jim Brown, Drucilla Corneli, Jenan Ismael, Roberto

Mangabeira Unger şi Simon Saunders au avut amabilitatea să citească în întregime ciornele şi să-mi ofere un feedback esenţial.

[3] Le sunt recunoscător lui Sean Carroll, Matt Johnson, Paul Steinhardt, Neil Turok şi Alex Vilenkin, ale căror conversaţii şi comentarii asupra ciornelor capitolelor m-au pus pe drumul cel bun în problemele cosmologice. Cercetările mele privind bazele fizicii cuantice prezentate aici datorează mult interacţiunilor cu comunitatea teoreticienilor de la Institutul Perimeter, în special Chris Fuchs, Lucien Hardy, Adrian Kent, Markus Muller, Rob Spekkens şi Antony Valentini.

încurajări decisive şi observaţii critice legate de primele schiţe, pe lângă multe altele, mi-au fost oferite, ca întotdeauna, de Saint Clair Cemin, Jaron Lanier şi Donna Moylan.

Atenţia acordată în epilog schimbării climei a fost inspirată şi susţinută de un seminar despre

comportamentul de prag în ştiinţele politice, organizat în asociere cu Thomas Homer-Dixon de la Balsillie School of Internaţional Affairs. îi sunt recunoscător lui Tad şi altor participanţi, în special Manjanei Milkoreit şi Tatianei Barlyaeva, pentru discuţiile şi colaborările pe această temă.

Pentru o iniţiere în economie, reflectată şi în epilog, le mulţumesc acelora care au lucrat împreună cu mine la organizarea unei conferinţe despre Criza Economică şi Implicaţiile sale pentru Ştiinţele Economice, ţinută la Institutul Perimeter în mai 2009; şi altora pe care i-am întâlnit la conferinţă şi ca urmare a acesteia, în special lui Brian Arthur, Mike Brown, Emanuel Derman, Doyne Farmer, Richard Freeman, Pia Malaney, Nassim Taleb şi Eric Weinstein.

Pentru prietenia şi colaborarea lor şi pentru opiniile privind auto-organizarea, le sunt profund îndatorat lui Stu Kauffman şi Per Bak.

Le sunt veşnic recunoscător lui

Howard Burton şi Mike Lazaridis pentru onoarea şi ocazia unică de a ajuta la înfiinţarea Institutul Perimeter pentru Fizică Teoretică, şi îi sunt de asemenea recunoscător lui Neil Turok pentru permanentele sale încurajări ale eforturilor noastre de a face progrese şi descoperiri. Fiecare om de ştiinţă şi savant ar trebui să aibă norocul pe care l-am avut eu de a găsi un cămin intelectual atât de stimulativ, divers şi susţinător al marilor ambiţii precum Institutul Perimeter.

Lucrările mele de fizică au fost generos finanţate de NSF, NSERC, Fundaţia Jesse
Philips, Fqxi— şi Fundaţia Templeton; tuturor le sunt foarte recunoscător pentru prilejul de a-mi efectua cercetările, precum şi de a susţine şi îndruma tineri oameni de ştiinţă promiţători.

Cartea aceasta a devenit mult mai bună graţie comentariilor primilor cititori, care miau oferit un feedback privind întregul manuscris sau unele părţi ale sale. Pe lângă cei deja menţionaţi, printre aceştia

se numără Jan Ambjorn, Brian Arthur, Krista Blake, Howard Burton, Marina Cortes, Emanuel Derman, Michael Duschenes, Laurent Freidel, James George, Dina Graser, Thomas Homer-Dixon, Sabine Hossenfelder, Tim Koslowski, Renate Loll, Fotini Markopoulou, Catherine Paleczny, Nathalie Quagliotto, Henry Reich, Carlo Rovelli, Pauline Smolin, Michael Smolin, Rita Tourkova, Antony Valentini, Natasha Waxman şi Ric Young.

Sunt unul dintre acei autori cărora le place să fie editaţi – fiindcă sunt acut conştient că am de câştigat din asta. Nici o carte de-a mea n-a beneficiat de editori mai devotaţi. Concepţia cărţii se datorează eforturilor Amandei Cook, acum la Crown Publishing, căreia îi sunt îndatorat pentru încrederea în proiect şi pentru convingerea ei că a meritat timpul petrecut cu cizelarea şi concentrarea sa. Courtney Young, de la Houghton Mifflin Harcourt, şi Sara Lippincott, cu numeroasele lor

comentarii şi sugestii, au fost cei mai buni editori pe care şi-i poate dori un autor. Cartea a avut mult de câştigat şi de pe urma observaţiilor Louisei Dennys, de la Knopf Canada. îi sunt îndatorat lui Thomas Penn pentru încurajările sale în momente cruciale, îi sunt de asemenea foarte recunoscător lui Henry Reich, care a desenat multe dintre figuri. La fel ca în cazul tuturor cărţilor mele, datorez o enormă recunoştinţă lui John Brockman, Katinka Matson şi Max Brockman; fără încrederea lor în ea, cartea aceasta n-ar fi existat.

Mulţumirile mele lui Rodila Gregorio pentru permanentele lecţii de răbdare, eleganţă şi responsabilitate afectuoasă – şi lui Kai, de la care am învăţat tot ce ştiu despre timp şi nu e discutat aici. Mulţumiri lui Pauline, Mike şi Lorna pentru iubirea şi încrederea lor în mine. în sfârşit, cuvintele sunt insuficiente pentru a exprima mulţumirile mele Dinei, care cu infinită iubire şi răbdare m-a ajutat să rezist presiunilor în încercarea

de a termina la timp o carte despre timp.

25. Roberto Mangabeira Unger şi Lee Smolin, *The Singular Universe and the Reality of Time: a Proposal in Natural Philosophy,* Cambridge University Press, 2015 (n. tr.).

26. The Foundational Questions Institute, organizaţie independentă care oferă subsidii pentru cercetări asupra unor probleme fundamentale din domeniul fizicii şi al cosmologiei. A fost înfiinţată în 2005 de cosmologii Max Tegmark şi Anthony Aguirre (n. tr.).